

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski program Gradbeništvo,
Smer operativno gradbeništvo

Kandidat:

Elvir Muhić

Projekt sanacije usada ter plazu Osilnica z varijantnimi analizami

Diplomska naloga št.: 272

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

doc. dr. Vojkan Jovičić

Ljubljana, 24. 4. 2007

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisan **ELVIR MUHIĆ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
Projekt sanacije usada ter plazu »OSILNICA« z variantnimi analizami.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 04.04. 2007

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 551.3.053:624.13(043.2)
- Avtor:** Elvir Muhić
- Mentor:** doc. dr. Janko Logar
- Somentor:** doc. dr. Vojkan Jovičić
- Naslov:** Projekt sanacije usada ter plazu »OSILNICA«
z variantnimi analizami
- Obseg in oprema:** 94 str., 15 preg., 65 sl., 6 graf., 7 en.
- Ključne besede:** nasip, podporni zid, pilotna stena, mikro pilotna stena

Izvleček

Diplomsko delo obravnava sanacijo plazu in usada na regionalni cesti Gašparci – Osilnica. Plaz in usad imata dve podizvedbi, ki se vrednotita po izvedbi in ekonomski opravičljivosti. Prvi del zavzema usad v km 7,7+98,00 do km 7,8+61,00. V tem odseku sta prikazani varianti sanacij z nasipnim materialom in podpornim zidom. Stabilnostne analize naredimo z računalniškim programom PLAXIS 2D. V drugem delu rešujemo problematiko plazu v km 7,6+86,00 do km 7,7+35,60 s pilotno steno ali pa z mikro pilotno steno.

Navedeni primer plazu in usada je že analiziran s programom LARIX v podjetju IRGO Consulting d.o.o., ter podane projektne rešitve v projektu PGD in PZI, kar je tudi osnova za diplomsko delo.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 551.3.053:624.13(043.2)
Author: Elvir Muhić
Supervisor: doc. dr. Janko Logar
Cosupervisor: doc. dr. Vojkan Jovičić
Title: Remedial measures of »Osilnica« landslides:
design and variant analyses
Notes: 94 p., 15 tab., 65 fig., 6 graph., 7 eq.
Key words: dyke, retaining wall, pile wall, micro pile wall

Abstract

Remedial works for the two landslides at regional road Gašparci – Osilnica are analysed in the final year work. For the both landslides the two variants of remedial measures are presented, from the phase of design to the phase of execution, including the assessment of the feasibility of each of the variants.

First part of the final year work is dealing with the landslide from km 7,7+98,00 to km 7,8+61,00. Stability analyses are made with computer program PLAXIS 2D for variants of the retaining wall and the embankment. The examples are discussed for the stability analyses for the same landslide using program LARIX, which were carried out by IRGO Consulting d.o.o. The second part of the final year work is dealing the section from km 7,6+86,00 do km 7,7+35,60 in which the variants of the pile wall and the micro-pile wall were analysed. Bill of quantities are presented for each variant and the variants are analysed in terms of the use of reinforcement and the concrete for two different types of the reinforced concrete structures. Discussed example of avalanche and landslide is already analysed with program LARIX by IRGO Consulting d.o.o. company. Solutions are presented in projects PGD and PZI which are base of this diploma.

ZAHVALA

Ob izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem za mentorstvo, strokovno pomoč in vse nasvete svojemu mentorju doc. dr. Janku Logaru in somentorju doc. dr. Vojkanu Jovičiču.

Posebna zahvala gre mojim domačim in mojemu dekletu, ki so mi vso študijsko pot stali ob strani.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	TEORETIČNE OSNOVE IN METODE ZA ANALIZO ZEMELJSKIH PLAZOV	3
2.1	Klasifikacija zemljin	3
2.1.1	Klasificiranje zemljin v laboratoriju	5
2.1.2	Klasificiranje zemljin na terenu	6
2.2	Nastanek in klasifikacija plazov	7
2.2.1	Plaz z ravno drsino	9
2.2.2	Plaz s krožno drsino	9
2.2.3	Blatni tok	9
2.2.4	Podor	10
2.3	Raziskave in opazovanja	11
2.3.1	Analiza obstoječih podatkov	11
2.3.2	Inženirsko-geološko kartiranje	11
2.3.3	Topografske meritve	11
2.3.4	Terenske geotehnične raziskave	12
2.3.5	Geofizikalne metode	12
2.3.6	Geomehanske laboratorijske raziskave	12
2.3.7	Opazovanja	13
2.4	Analiziranje plazov	13
2.4.1	Dr sine in stabilnostne analize	13
2.5	Numerične metode izračuna stabilnosti	14
2.5.1	Bishopova metoda	16
2.5.2	Janbujeva metoda	16
2.5.3	Metoda končnih elementov (MKE)	16
2.5.4	Računalniški program PLAXIS 2D	18
2.6	Ukrepi za stabilizacijo plazov	19
2.6.1	Odvodnjevanje in dreniranje	19
2.6.2	Premeščanje zemeljskih mas	20

2.6.3	Stabilizacija zemljin	21
2.6.4	Podporni zidovi	26
3	GEOLOŠKO GEOTEHNIČNE RAZMERE NA PLAZU IN USADU »OSILNICA«	31
3.1	Splošno	31
3.2	Sestava tal	33
3.3	Terenske raziskave	36
3.4	Laboratorijske raziskave	41
3.5	Inženirsko geološke razmere	43
3.6	Določitev materialnih karakteristik	44
3.7	Rezultati geomehanskih preiskav	48
4	VARIANTE SANACIJ ZA USAD v km 7,7+98.00 do km 7,8+61.00	50
4.1	Obstoječe stanje USADA v km 7,8+06.00 do km 7,8+70.00	50
4.2	Varianta sanacije USADA z nasipom v km 7,7+98.00 do km 7,8+61.00	51
4.2.1	Stabilnostna analiza za nasip	53
4.2.2	Analiza za nasip	54
4.2.3	Izvedba sanacije	58
4.2.4	Predračun in rekapitulacija investicijskih stroškov za nasip	59
4.3	Varianta sanacije s podpornim zidom v km 7,7+98.00 do km 7,8+61.00	61
4.3.1	Stabilnostna analiza za podporni zid	62
4.3.2	Analiza za podporni zid	62
4.3.3	Izvedba sanacije s podpornim zidom	67
4.3.4	Predračun in rekapitulacija investicijskih stroškov za podporni zid	69
4.4	Primerjava rešitev z nasipom in kamnito zložbo pri sanaciji usada v km 7,7+98.00 do km 7,8+61.00	70
5	VARIANTE SANACIJ ZA PLAZ v km 7,6+86.00 do km 7,7+35.60	71
5.1	Obstoječe stanje PLAZU v km 7,6+88.00 do km 7,7+33.00	71
5.2	Varianta sanacije plaz u s pilotno steno v km 7,6+86.20 do km 7,7+35.60	72
5.2.1	Stabilnostna analiza za pilotno steno	73

5.2.2	Analiza za pilotno steno	74
5.2.3	Dimenzioniranje pilotne stene	78
5.2.4	Tehnologija gradnje	80
5.2.5	Predračun in rekapitulacija investicijskih stroškov za pilotno steno	83
5.3	Varianta sanacije z mikro piloti v km 7,6+86.20 do km 7,7+35.60	84
5.3.1	Analiza za mikro-pilotno steno	84
5.3.2	Dimenzioniranje mikro pilotne stene	88
5.3.3	Predračun in rekapitulacija investicijskih stroškov za mikro pilotno steno	90
5.4	Primerjava med pilotno steno in mikro piloti pri sanaciji plazv v km 7,6+86.20 do km 7,7+35.60	92
6	ZAKLJUČEK	93
	VIRI	94

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Vrednotenje rezultatov SPT po Eurocode 7-3 (Geoinženiring, Ljubljana, 2002).	38
Preglednica 2:	Vrednotenje rezultatov SPT po Eurocode 7-3 (Geoinženiring, Ljubljana, 2002).	39
Preglednica 3:	Meritve nivojev vode v inklinometrih.	40
Preglednica 4:	Vhodni parametri, ki smo jih vnesli v RocLab.	45
Preglednica 5:	Rezultati dobljeni z programom RocLab.	45
Preglednica 6:	Rezultati fizikalnih karakteristik zemljin (Geoinženiring, Ljubljana, 2002).	48
Preglednica 7:	Rezultati fizikalnih strižnih karakteristik zemljin (Geoinženiring, Ljubljana, 2002).	49
Preglednica 8:	Vhodni parametri za statični izračun nasipa.	53
Preglednica 9:	Rekapitulacija investicijskih stroškov za nasip (v EUR).	60
Preglednica 10:	Rekapitulacija investicijskih stroškov za podporni zid (v EUR).	69
Preglednica 11:	Vhodni parametri za stabilnostno analizo pilotne stene.	73
Preglednica 12:	Maksimalne notranje sile v pilotu z izbrano armaturo.	79
Preglednica 13:	Rekapitulacija investicijskih stroškov za pilotno steno (v EUR).	83
Preglednica 14:	Maksimalne notranje sile v mikro pilotu z izbrano armaturo.	89
Preglednica 15:	Rekapitulacija investicijskih stroškov za mikro pilotno steno (v EUR).	91

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1:	Prikaz porazdelitve finančnih sredstev za izdelavo nasipa.	59
Grafikon 2:	Prikaz porazdelitve finančnih sredstev za izdelavo podpornega zidu.	69
Grafikon 3:	Primerjalna analiza stroškov med nasipom in podpornim zidom brez DDV.	70
Grafikon 4:	Predračun investicijskih stroškov za pilotno steno.	83
Grafikon 5:	Rekapitulacija investicijskih stroškov za mikro pilotno steno.	91
Grafikon 6:	Primerjalna analiza stroškov med pilotno steno in mikro pilotno steno brez DDV.	92

KAZALO SLIK

Slika 1:	Pojavi na plazu (Ribičič, 1997).	8
Slika 2:	Enostavna klasifikacija: (a) plaz z ravno drsino, (b) plaz s krožno drsino, (c) blatni tok, (d) podor (Ribičič, 1997).	9
Slika 3:	Blatni tokovi nastanejo zaradi spremembe konsistence materiala zaradi povečane količine vode v materialu (Komac, 2005).	10
Slika 4:	Skalni podor in prevračanje materiala po pobočju (Komac, 2005).	10
Slika 5:	Laminalna metoda stabilnostne analize pobočja: a) Znane sile za lamelo i, b) Določitev neznanih sil E_j in Q_j . (Šuklje, 1984).	15
Slika 6:	Diskretiziranje kontinuuma (Prelog, 1975).	17
Slika 7:	Vrste drenaž: (a) jašek, (b) zasek, (c) vodnjak, (d) horizontalna vrtina, (e) rov (Ribičič, 1997).	20
Slika 8:	Različni primeri ukrepov s premestitvijo zemeljskih mas: (a) odstranitev nasipa (b) zmanjšanje nagiba, (c) obremenitev pete, (d) razbremenitev, (e) dreniranje (Ribičič, 1997).	21
Slika 9:	Injektiranje s curkom.	22
Slika 10:	Prikaz dveh vrtin z razširitvijo za termično obdelavo (stabilizacijo)	23
Slika 11:	Elektroosmoza	24
Slika 12:	Prikaz zamenjave materialov: (a) menjava osrednjega dela plazine z dolomitnim drobljencem, (b) menjava plazine v peti plazu, (c) menjava v spodnji polovici plazine in zmanjšanje nagiba, (d) menjava celotne plazine (Ribičič, 1997).	25
Slika 13:	Težnostni podporni zid (Ribičič, 1997).	27
Slika 14:	Delujoče sile na podporni zid.	27
Slika 15:	Sidrani zid.	28
Slika 16:	Zid z vezjo in sidrnim blokom (Nonveiller, 1979).	29
Slika 17:	Pilotna stena (Ribičič, 1997).	30
Slika 18:	Sidrna pilotna stena (Ribičič, 1997).	30
Slika 19:	Geodetski posnetek plazu z vrisanimi vrtinami (IRGO, Ljubljana, 2003).	31
Slika 20:	Geodetski posnetek usada z vrisanimi vrtinami (IRGO, Ljubljana, 2003).	32
Slika 21:	Prikaz prečnih geoloških profilov z vrisanimi vrtinami V-1 do V-4.	34
Slika 22:	Prikaz prečnih geoloških profilov z vrisanimi vrtinami V-5 do V-8.	35
Slika 23:	Dobljeni rezultati za preperel skrilav meljevec.	46
Slika 24:	Dobljeni rezultati za kompakten skrilav meljevec.	46
Slika 25:	Fotografija USADA z odlomnim robom asfalta.	50
Slika 26:	Tlorisna situacija sanacije z nasipom (IRGO, Ljubljana, 2003).	51
Slika 27:	Karakteristični prečni profil nasipa (IRGO, Ljubljana, 2003).	52
Slika 28:	Tlorisna situacija končne ureditve z nasipom (IRGO, Ljubljana, 2003).	53
Slika 29:	Geometrija z mrežo končnih elementov v profilu U2, varianta z nasipom.	55
Slika 30:	Začetna varnost brez nasipa, $F_s=1.00$ v profilu U2.	55
Slika 31:	Varnostni količnik med potekom sanacije, $F_s=1.24$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa.	56
Slika 32:	Diagram varnostnega količnika med potekom sanacije, $F_s=1.24$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa.	56
Slika 33:	Pomiki nasipa v profilu U2 ob upoštevanju prometa.	57

Slika 34: Končna varnost nasipa, $F_s=1.25$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa in vode.	57
Slika 35: Diagram končne varnosti, $F_s=1.25$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa in vode.	58
Slika 36: Tlorisna situacija sanacije s podpornim zidom (IRGO, Ljubljana, 2003).	61
Slika 37: Karakteristični prečni profil podpornega zidu (IRGO, Ljubljana, 2003).	62
Slika 38: Geometrija z mrežo končnih elementov v profilu U2, varianta z podpornim zidom.	64
Slika 39: Začetna varnost brez podpornega zidu, $F_s=1.00$ v profilu U2.	64
Slika 40: Varnostni količnik med potekom sanacije, $F_s=1.25$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa.	65
Slika 41: Diagram varnostnega količnika med potekom sanacije, $F_s=1.25$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa.	65
Slika 42: Pomiki podpornega zidu v profilu U2 ob upoštevanju prometa.	66
Slika 43: Varnostni količnik nasipa nad podpornim zidom, $F_s=1.33$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa in vode.	66
Slika 44: Diagram varnostnega količnika nasipa nad podpornim zidom, $F_s=1.33$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa in vode.	67
Slika 45: Prikaz saniranega stanja USADA s podpornim zidom.	68
Slika 46: Fotografija PLAZU z obstoječim podpornim zidom.	71
Slika 47: Tlorisna situacija sanacije s pilotno steno (IRGO, Ljubljana, 2003).	72
Slika 48: Karakteristični prečni profil pilotne stene (IRGO, Ljubljana, 2003).	73
Slika 49: Geometrija z mrežo končnih elementov v profilu P7, varianta pilotne stene.	75
Slika 50: Začetno stanje brez pilotne stene, $F_s=1.00$ ob upoštevanju prometa in vode v profilu P7.	76
Slika 51: Pilotna stena v profilu P7 in dobljeni pomiki ob upoštevanju prometa.	76
Slika 52: Notranje maksimalne sile v pilotu P7, varianta pilotne stene.	77
Slika 53: Varnostni količnik pod pilotno steno, $F_s=1.26$ ob upoštevanju prometa in vode.	77
Slika 54: Diagram varnostnega količnika pod pilotno steno, $F_s=1.26$ v profilu P7 ob upoštevanju prometa in vode.	78
Slika 55: Izpis iz diagrama DIAS, za maks. aktivirane notranje sile v profile P3 in P5.	79
Slika 56: Vz dolžni profil pilotne stene.	80
Slika 57: Prikaz saniranega stanja PLAZU s pilotno steno.	82
Slika 58: Geometrija z mrežo s končnimi elementi v profilu P7, varianta z mikro pilotno steno.	85
Slika 59: Začetna varnost brez mikro pilotne stene, $F_s=1.00$ v profilu P7 ob upoštevanju prometa in vode.	86
Slika 60: Mikro pilotna stena v profilu P7 in dobljeni pomiki ob upoštevanju prometa.	86
Slika 61: Notranje maksimalne sile v profilu P7, varianta mikro pilotne stene.	87
Slika 62: Varnostni količnik pod mikro pilotno steno, $F_s=1.26$ v profilu P7 ob upoštevanju prometa in vode.	87
Slika 63: Diagram varnostnega količnika pod mikro pilotno steno, $F_s=1.26$ v profilu P7 ob upoštevanju prometa in vode.	88
Slika 64: Izpis iz diagrama DIAS, za maks. aktivirane notranje sile v profile P7.	89
Slika 65: Vz dolžni profil mikro pilotne stene	90

KAZALO OKRAJŠAV

AB	armiran beton
AC	(Airfield Classification) klasifikacija zemljin
EUR	evro
GSI	(Geological Strength Index) geološki trdnostni indeks
IRGO	Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje
MKE	metoda končnih elementov
PGD	projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja
PN	prednapenjanje (sider)
PZI	projekt za izvedbo
SPT	standardni penetracijski test

KAZALO SIMBOLOV

A	anoda, prečni prerez
B	širina temelja
B_1	širina zidu
B_i	dolžina dna lamele
Ce	korekcija zaradi prenosa energije
C_N	korekcija zaradi efektivnega tlaka
C_S	korekcija zaradi talne vode v peskih
c	kohezija
D	višina temelja
E	aktivna sila (zaledni pritisk), modul elastičnosti
E_d	modul deformacije
E_m	Youngov modul elastičnosti
\bar{E}_i	efektivna notranja sila
\bar{E}_j	neznane efektivne reakcije ob spodnji vertikalni meji ploskve j lamele i
F_S	količnik varnosti
G_b	sila teže zidu
H	višina bloka
H^+	vodikov kation
\bar{I}_i	volumska vztrajnostna sila
I_c	indeks konsistence
I_d	indeks gostote
K	katoda
k_{10}	koeficient vodoprepustnosti
L	dolžina sidra
M_s	modul stisljivosti
m_i	materialna karakteristika, odvisna od tipa kamnine
\bar{N}_i	normalna komponenta \bar{Q}_i
N_{60}	število udarcev pri SPT
$(N_1)_{60}$	korigirana vrednost števila udarcev

O^{2-}	kisikov anion
\bar{P}_{bi}	vodni pritisk na osnovno ploskev lamele
\bar{P}_{wi}	rezultanta hidravličnih sil, ki učinkuje na vertikalno mejno ploskev lamele
p ₆₀	penetrabilnost pri SPT
R	rezultanta
\bar{R}_i	rezultanta vseh znanih sil
\bar{S}_i	sila na površju lamele
\bar{T}_i	tangencialna komponenta \bar{Q}_i
\bar{T}_{ci}	kohezijska komponenta \bar{T}_i
$\bar{T}_{\phi i}$	torna komponenta \bar{T}_i
\bar{Q}_i	neznane efektivne reakcije ob dnu lamele i
$Q_{\phi i}$	sila sestavljena iz komponent \bar{N}_i in $\bar{T}_{\phi i}$
Q_{dot}	nivo podtalne vode (dotok)
Q_{odt}	nivo podtalne vode (odtok)
q _u	enoosna tlačna trdnost
\bar{W}_i	teža lamele
W	teža zemljine
w	naravna vlaga
w _L	meja židkosti
w _p	meja plastičnosti
ϕ	kot, ki ga oklepata normalna komponenta \bar{N}_i z reakcijsko silo \bar{Q}_i
φ	strižni kot
γ	naravna prostorninska teža
γ_D	suha prostorninska teža
λ	korekcija zaradi dolžine drogovja
ν	Poissonov količnik
\mathcal{G}_A	nagib porušnice za aktivni zemeljski pritisk
\mathcal{G}_p	nagib porušnice za pasivni zemeljski pritisk

τ_{dir}	direktna strižna trdnost
τ_{rot}	rotacijska strižna trdnost
σ	napetost
σ_{ci}	enoosna tlačna trdnost
σ_{kor}	korrigirana povprečna enoosna tlačna trdnost

1 UVOD

Pri vzdrževanju cestnega omrežja pogosto naletimo na problematiko reševanja podorov, zruškov, drsenja, blatnih tokov in drugih naravnih pojavov plazjenja. Ti naravni pojavi nastajajo kot posledica geoloških razmer na terenu, vplivov podtalnice in meteornih vod ter drugih pojavov.

Reševanje te problematike zahteva natančno in zanesljivo analizo obstoječega stanja na terenu, preučitev možnih metod reševanja in nenazadnje dolgoletne operativne izkušnje. Za natančno in zanesljivo reševanje problematike sanacije podorov in zruškov moramo natančno opraviti klasifikacijo zemljin, tako na terenu kot tudi z laboratorijskimi preiskavami, določiti geomehanske lastnosti zemljin in na podlagi tega ustrezno sanirati nastalo situacijo. Na podoben način moramo opraviti klasifikacijo plazov glede na njihov nastanek, velikost, položaj, potencialno možnost in smer plazjenja ter druge karakteristike.

Na regionalni cesti Gašparci – Osilnica je predvidena sanacija na dveh odsekih. Cesta je poškodovana, asfaltna plast je razpokana, cestišče je posedeno. Na prvi lokaciji je pod cesto podporni zid, ki ni poškodovan, vprašljiva pa je njegova globalna stabilnost. Zgornji odlomni rob je na polovici cestišča, opazen je tudi odlomni rob pod zidom. Na drugi lokaciji, oddaljeni cca. 100 m, je zgornji odlomni rob na robu asfalta, brežina je posedena, deloma že tudi v celoti odnešena, tako da je potrebna delna zapora.

Na ta način lociran in opredeljen problem nam omogoča pristop k detajlnejšim raziskavam in opazovanju plazu. Poznamo različne ukrepe za stabilizacijo plazov npr. odvodnjevanje in dreniranje, premeščanje zemeljskih mas, stabilizacija zemljin in zaustavitev plaznih procesov z uporabo podpornih zidov. Rezultati izvedenih metod, raziskav in analiz nam morajo omogočiti čim bolj natančno usmeritev za način sanacije drsin in njeno zanesljivo stabilnost.

Kot je v teoriji in praksi znano, obstajajo različne metode numeričnega izračuna stabilnosti, v svoji nalogi pa obdelujemo reševanje konkretnega primera z metodo končnih elementov (v nadaljevanju MKE) in sicer tako, da analizo projektних rešitev opravimo s programom

PLAXIS 2D. Navedeni primer plazu in usada je že analiziran s programom LARIX, zato smo opravili povratno analizo in izvedli primerjavo metodne rešitve kot tudi finančnih prednosti oz. pomanjkljivosti posamezne metode.

Rezultati opravljenih računalniških analiz podajo jasen odgovor glede izbire ustrezne variante in tehnologije sanacije usada in plazu. Na podlagi pridobljenih rezultatov in izsledkov je opravljena večplastna primerjava med temi metodami v smislu tehnologije in ekonomske opravičljivosti.

2 TEORETIČNE OSNOVE IN METODE ZA ANALIZO ZEMELJSKIH PLAZOV

2.1 *Klasifikacija zemljin*

Mehansko obnašanje glavnih skupin zemljin (gramozov, peskov, meljev, glin in šot) je med seboj zelo različno. Načeloma so gline bolj neprepustne za vodo kot peski, vendar so tudi veliko mehkejše. Šote so zelo lahke (včasih celo lažje od vode) in zelo anizotropne zaradi vsebnosti vlaken organskega izvora. Ponavadi so zelo stisljive. Peski so dobro prepustni in trdni predvsem, če so dalj časa izpostavljeni predobtežbi. Pomembna karakteristika, ki jo imajo vse sipke zemljine, je ta, da ne morejo prenašati natezne sile, temveč le tlačno. Le kadar imamo opravka z zelo drobnimi delci zemljine, ki vsebuje vodo, lahko slednja prenaša natezno silo preko kapilarnih sil v kontaktih med zrn. Velikost zrn je osnova za določitev lastnosti zemljin, vendar iz tega podatka ne izvemo dovolj za mehanski opis lastnosti zemljin. Vsi podatki, ki jih inženir potrebuje, slonijo na mehanskih lastnostih kot sta togost in trdnost, te pa določimo z mehanskimi testi. Zemljine z enako velikostjo zrn imajo ponavadi različne mehanske lastnosti (pomembna je tudi oblika in ostrost robov zrn ter pri prepustnosti vsebnost drobnih zrn). Kvaliteta temeljnih tal oziroma zemljine, ki jo vgrajujemo v zemeljske objekte, se mora dokazati z ustreznimi raziskavami. Različne vrste zemljin se med seboj razlikujejo, kljub temu pa lahko zemljine, ki imajo podobne lastnosti, npr. granulometrični sestav, lezne meje, gostota, občutljivost, itd., razvrstimo v skupine z značilnimi lastnostmi, ne da bi s tem podali njihovo splošno kvalifikacijo.

Klasifikacijski sistemi

Obstaja cela vrsta klasifikacijskih sistemov. Danes se najbolj pogosto uporablja modificirana AC klasifikacija zemljin, ki je pri nas predpisana s standardom. Po modificirani AC klasifikaciji razvrščamo zemljine s podobnimi lastnostmi v tri glavne skupine zemljin:

- debelozrnate (nekoherentne, sipke, nevezljive)
- drobnozrnate (koherentne, vezljive) zemljine in
- šote.

Prva skupina se deli v dve podskupini:

- v gramoze in
- peske,

druga pa v tri podskupine:

- v melje,
- organske zemljine in
- gline.

Šot ne delimo v podskupine.

Po tej klasifikaciji se vsaka vrsta zemljine označuje z dvema simboloma - črkama. Prva črka označuje eno od šestih podskupin glavnih vrst zemljin, drugi simbol pa nadaljnjo delitev vsake od podskupin. Za razvrstitev zemljin v skupino debelozrnatih zemljin je odločilna zrnavost oz. granulometrični sestav zemljine, razvrstitev zemljin v skupino drobnozrnatih zemljin pa narekuje plastičnost zemljine (meja židkosti w_L in indeks plastičnosti I_p).

Po modificirani AC klasifikaciji ločimo 15 vrst različnih zemljin.

- Debelozrnate zemljine ločimo v 8 različnih vrst:

Gramozi (G): GW, GP, GC, GM

Peski (S): SW, SP, SC, SM

- koherentne zemljine pa v 6 različnih vrst:

Melji (M): ML in MH

Organske zemljine (O): OL in OH

Gline (C): CL in CH

Drugi indeksi pri označbah debelozrnatih zemljin imajo sledeč pomen:

W ... dobro stopnjevana zrnavost,

P ... slabo stopnjevana zrnavost,

M ... gramoz s preobilno količino melja (zameljen material),

C ... gramoz s preobilno količino gline (zaglinjen material).

Drugi indeksi pri označbah drobnozrnatih zemljin imajo sledeč pomen:

H ... zelo stisljiva zemljina,

L ... malo stisljiva zemljina.

2.1.1 Klasificiranje zemljin v laboratoriju

Debelozrnate zemljine (nekoherentne)

Pri debelozrnatih zemljinah si pri klasifikaciji pomagamo s krivuljo zrnivosti. Če zemljino sestavljajo pretežno (več kot 50 %) zrnja, večjega od 2 mm, takšno zemljino uvrščamo med gramoze, če pa je v zemljini več kot 50 % zrnja, velikosti med 0.06 in 2 mm, zemljino klasificiramo kot pesek. Stopnja zrnivosti je razvidna iz oblike, strmine in zakrivljenosti granulometrične krivulje ter količine in vrste finih - najmanjših zrn, ki jih preiskana zemljina vsebuje. Torej na klasifikacijo vplivata tudi koeficienta enakomernosti

$$C_U = D_{60} / D_{10} \quad (1)$$

in zrnivosti (oz. ukrivljenosti).

$$C_C = D_{30}^2 / (D_{10} \times D_{60}) \quad (2)$$

Pri čemer z D_{30} označimo premer zrnja, ki na krivulji zrnivosti ustreza ordinati presevka 30%. Kot čiste gramoze (GW, GU) smatramo tiste gramoze, ki vsebujejo manj kot 5% zrn manjših od 0.063 mm. S simbolom GW označujemo gramoze, katerih količnik enakomernosti presega vrednost 4 ($C_U > 4$), vrednost količnika ukrivljenosti pa ni večja od 3 in ne manjša od 1 ($1 < C_C < 3$). Gramoze, za katere prejšnja dva pogoja nista izpolnjena, označimo z GP. Zemljino GC, dobro granuliran gramoz z malo glinenega veziva (5 do 12 %), označimo z dvojno oznako GW-GC, pesek SC pa s SW-SC. Granuliran gramoz s preobilno količino glinenega oz. meljnega veziva ali slabo granuliran gramoz z znatno količino glinenega oz. meljnega veziva (>12 %) označimo z GM oz. GC.

Pri razvrstitvi peskov v osnovne vrste SW, SP, SC in SM veljajo enaki kriteriji, kot pri razvrstitvi gramozov, izjema je velikost količnika enakomernosti C_U . Za vrsto peska mora biti ta večji od 7 ($C_U > 7$).

Drobnozrnate zemljine (koherentne)

Pri drobnozrnatih zemljinah si pri klasifikaciji pomagamo s krivuljo zrnivosti. Zemljino, ki jo sestavljajo pretežno zrna, večja od 0.002 mm in manjša od 0.063 mm, uvrščamo v melje, zemljino, ki jo sestavljajo pretežno zrnja velikosti manjše od 0.002 mm, pa klasificiramo kot gline. Zemljina lahko vsebuje tudi plasti šote, ki je sestavljena iz organskih materialov razpadajočih rastlin. Velikost zrn je pri šoti običajno majhna, vendar pa so v njej lahko prisotni delci lesa. V tem primeru zemljine ne klasificiramo na osnovi velikosti zrn, temveč po kemijski sestavi, saj vsebuje veliko oglja. Količino oglja pa lahko določimo z meritvijo izgorelega materiala med sušenjem.

Koherentne zemljine razvrstimo v skupino zelo stisljivih (H) in malo stisljivih (L) zemljin glede na velikost meje židkosti in indeksa plastičnosti. Meja med zelo in malo stisljivo zemljino je postavljena pri meji židkosti $w_L = 50\%$.

Casagrande (1948) je definiral tako imenovano A-linijo, narisano v koordinatnem sistemu (w_L, I_p). Enačba A-linije je:

$$I_p = 0.73 (w_L - 20) \quad (3)$$

Za gline (C) leže točke z absciso w_L in ordinato I_p nad A-linijo, za organske zemljine (O) in melje (M) pa pod A-linijo. Organske zemljine ločimo od meljev po barvi (črna), po vonju (neprijeten vonj) in po vidnih organskih primeseh. Ločimo jih tudi po tem, da plastičnost organskih zemljin močno upade, če jih pred preiskavo presušimo v peči.

Po izkušnjah številnih raziskovalcev pri nobeni vrsti glin indeks plastičnost ne presega mejnih vrednosti, podanih s to enačbo, t.j. zemljine, ki bi ležala nad to linijo (U) ni.

Pri klasifikaciji koherentnih zemljin v malo oz. srednje in zelo stisljive vrste nas ne sme motiti konsistenca zemljine. Napačno bi bilo neko zemljino uvrstiti v zelo stisljivo vrsto samo zato, ker je v naravi to zemljina v židki konsistenci ali pa zemljino glede na njeno poltrdno konsistenco uvrstiti v vrsto malo stisljivih zemljin. Meji židkosti w_L in plastičnosti w_p neke zemljine sta neodvisni od konsistence, v kateri se zemljina nahaja.

2.1.2 Klasificiranje zemljin na terenu

Sestavo temeljnih tal opišemo z globino in debelino različnih plasti, barvo, konsistenco, gostoto ter jo razvrstimo v eno izmed 15 vrst modificirane AC klasifikacije. Na terenu

zemljine ne moremo presejati, niti ji ne moremo določiti leznih mej, zato je takšna klasifikacija nenatančna. Zemljine razvrstimo v skupino debelozrnatih vrst, če lahko z vidom ali otipom razločimo več kot 50 % zrna. V nasprotnem primeru zemljino razvrstimo v skupino koherentnih materialov. Debelozrnate zemljine razvrstimo v posamezne vrste tako, da ocenimo stopnjo zrnivosti. Če zemljina pretežno sestoji iz zrna večjega od 2 mm jo klasificiramo kot gramoz, sicer pa kot pesek. Če so v zemljini zastopane vse velikosti zrna, označimo takšno zemljino z drugim simbolom W, če posamezne velikosti zrnja v zemljini manjkajo, jo označimo z drugim simbolom P. Če je med večjimi zrnji pomešana glina, ta večja zrna med seboj poveže. Če je glina v zemljini malo, toliko, da vsa večja zrna samo oblepi, takšno zemljino označimo s simbolom GW(P)-GC, pri večji količini glina pa zemljino označimo s simbolom GC. Obilna količina meljastih in najfinejših peščenih zrn, večjih zrn, ki jih ločimo s prostim očesom, med seboj ne poveže. Takšne zemljine označimo z GM oziroma SM. Najfinejša zrna pa lahko ločimo v vrsto glin ali meljev z nekaj enostavnimi preizkusi, s katerimi na terenu klasificiramo koherentne zemljine.

2.2 Nastanek in klasifikacija plazov

Zemeljski plazovi nastanejo pri zdrsu zemeljske mase po pobočju ali brežini. Do zdrsa pride, ko je na neki ploskvi v zemljini presežena strižna trdnost. Strižna trdnost je lahko presežena zaradi (Osrečki, 1994):

- zunanjih sprememb, ki povečajo strižno napetost ali
- notranjih sprememb, ki zmanjšajo strižno trdnost.

Po Terzaghiju so glavni vzroki za splazitev zemeljske mase:

a. Sprememba zunanjih stabilnostnih pogojev:

- sprememba površine (spodkopavanje, erozija, zarezovanje potokov, umetni izkopi),
- razbremenitev (erozija, zaseki, umetni izkopi),
- obremenitev (dodajanje materiala, povečanje višine in podobno),
- tresljaji in vibracije (naravni in umetni potresi),
- zniževanje nivoja vode (praznjenje jezer in akumulacij),
- sprememba vodnega režima (deževje, povečanje teže in pornege tlaka).

b. Sprememba notranjih stabilnostnih pogojev:

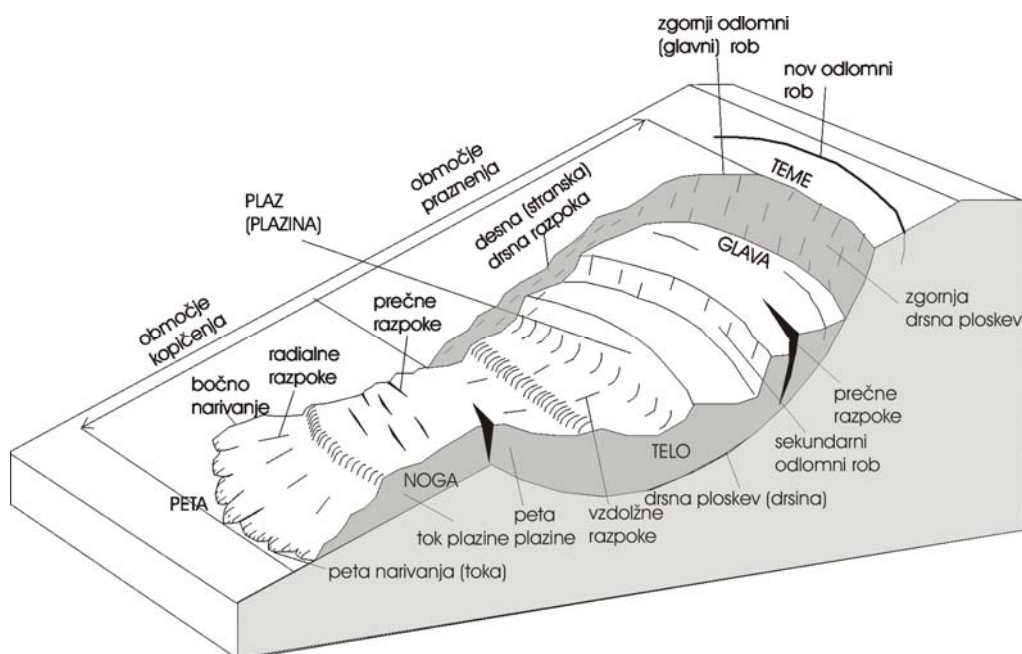
- progresivni lomi (lateralno širjenje razpok in erozija),

- preperevanje (zmrzovanje–taljenje, izsuševanje, zmanjšanje kohezije, izguba veziva),
- erozija izvirov in ponikalnic (raztapljanje, hidravlični lomi tal in podobno).

Na plazu in v njegovi okolici so razni pojavi, ki kažejo na drsenje. Značilni so:

- plazina (čelo, telo, peta)
- odlomni robovi (zgornji, stranski in spodnji),
- razpoke (prečne, vzdolžne in radialne).

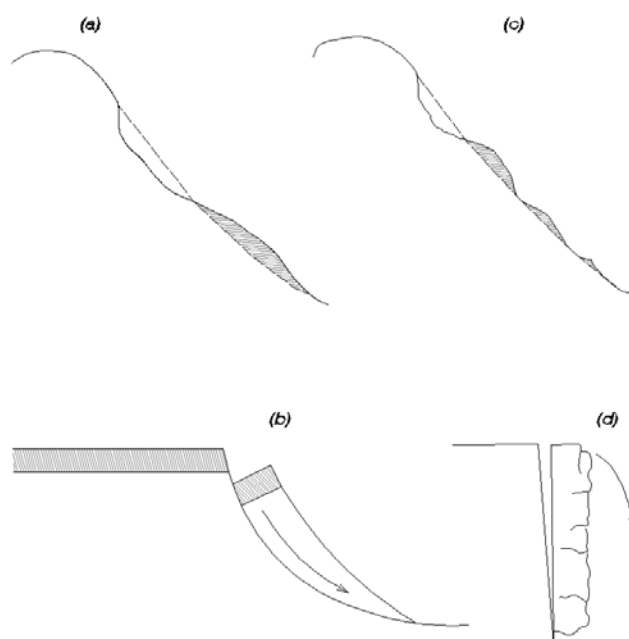
Navedeni pojavi so prikazani na sliki 1.



Slika 1: Pojavi na plazu (Ribičič, 1997).

Klasifikacija plazov

Plazove klasificiramo po različnih kriterijih, kot so: geološka struktura, oblika, hitrost drsenja, ipd. Zelo pregledna je t.i. enostavna klasifikacija, katere osnova je oblika porušnice in način premikanja zemeljskih mas. Po tej klasifikaciji se plazovi delijo na štiri skupine (slika 2).



Slika 2: Enostavna klasifikacija: (a) plaz z ravno drsino, (b) plaz s krožno drsino, (c) blatni tok, (d) podor (Ribičič, 1997).

2.2.1 Plaz z ravno drsino

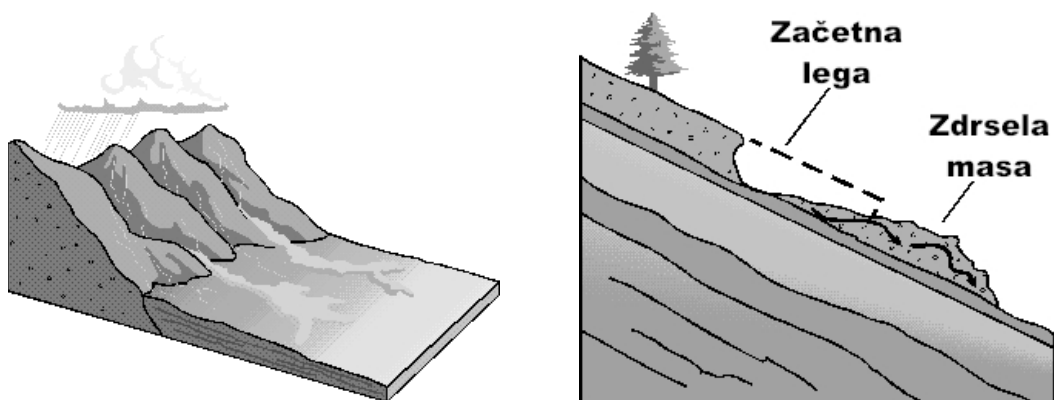
Drsina je vzporedna s pobočjem in sorazmerno plitva. Drseči material ostane v blokih povezan npr. s koreninami. Hitrost premikanja je od nekaj mm/sek do nekaj m/sek.

2.2.2 Plaz s krožno drsino

Drsina ima krožno obliko. Plazovi so sorazmerno globoki glede na njihovo dolžino. Zdrseli material ostane v glavnem nespremenjen (nezdobljen). Ti plazovi so pogosti na umetnih brežinah (izkop, nasip, odlagališča). Hitrost premikanja je od nekaj mm/leto do nekaj m/dan.

2.2.3 Blatni tok

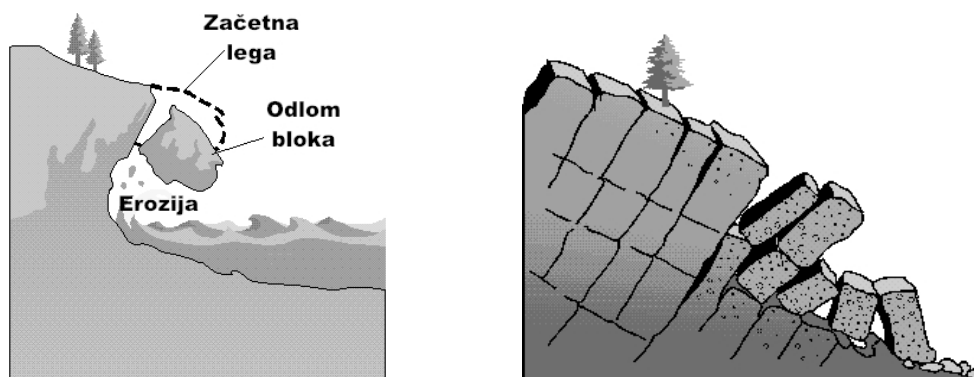
Drsina je sorazmerno plitva in paralelna s površino. Material steče kot »židka masa«. Dolžina plazju je glede na globino zelo velika. Hitrost premikanja je od cm/min do več m/sek.



Slika 3: Blatni tokovi nastanejo zaradi spremembe konsistence materiala zaradi povečane količine vode v materialu (Komac, 2005).

2.2.4 Podor

Podor je zdrs, pri katerem pride do prekinitve kontakta med drsečo maso in podlago vsaj na delu poti. Podor se pojavi predvsem pri zelo strmih (vertikalnih) brežinah (slika 4). Hitrost premikanja je od m/s do m/min.



Slika 4: Skalni podor in prevačanje materiala po pobočju (Komac, 2005).

2.3 Raziskave in opazovanja

Vrsta in obseg raziskav plazu je odvisna od velikosti plazu in nevarnosti, ki jo plaz lahko predstavlja. Raziskave obsegajo ugotavljanje vzrokov za drsenje, razprostranjenost plazu, geotehnične lastnosti plazine in podlage ter analizo stabilnosti. Najbolj pogoste metode raziskav so: analiza obstoječih podatkov, inženirsko-geološko kartiranje, topografske meritve, terenske geotehnične raziskave, geofizikalne metode, geomehanske laboratorijske raziskave in opazovanja.

2.3.1 Analiza obstoječih podatkov

Analiza obstoječih podatkov zajema zbiranje in proučevanje vseh podatkov o plazu in razmer ob posameznih spalzitivah.

2.3.2 Inženirsko-geološko kartiranje

Inženirsko-geološko kartiranje je pregled terena in zbiranje podatkov za inženirsko-geološko karto. Te karte vsebujejo razen litoloških podatkov (sestava kamnine oz. zemljine), podatke o stanju kamnin (monolitnost, razpokanost, preperelost, pojav zakraselosti), starost kamnine in starost plazenja, pojave na površini (stabilna in nestabilna področja, udori, razpoke, odlomni robovi), hidrogeološke podatke (ocenjena vsebnost vode v plazini, podzemne vode), hidrološke podatke (izviri, bližnji močvirnati tereni, vodni). Inženirsko-geološke karte se običajno izdelujejo za določen namen in vsebujejo predvsem podatke pomembne za ta namen. Taki nameni so lahko tudi: gradnja prometnic in pregrad, sanacija plazov in podobno.

2.3.3 Topografske meritve

Topografske meritve so zelo pomembne za določitev sprememb na plazu, predvsem premikov plazine odvisno od časa. Opazujemo premike plazine, razpoke, odlomne in narivne robove.

Najbolj poznani topografski metodi sta:

- fotogrametrična analiza (v določenih časovnih intervalih fotografiramo plaz iz istih opazovalnih točk izven plazu),

- geodetske meritve (s teodolitom v točno določenih časovnih intervalih izvedemo meritve in za vse opazovalne točke določimo njihove premike).

2.3.4 Terenske geotehnične raziskave

Terenske raziskave obsegajo razna dela in postopke, s katerimi določimo sestavo terena in lasnosti materialov, ki teren sestavljajo. Terenske raziskave se lahko vršijo v vrtinah, zasekih, rovih, ipd. Najpogosteje se poslužujemo vrtanja. Vrtanje nam omogoča pridobivanje vzorcev (porušeni in neporušeni), kakor tudi vmesne meritve, ki se lahko izvajajo v času vrtanja. Te meritve se izvajajo s Standardnim Penetracijskim Testom (SPT) v nevezanih zemljinah in krilna sonda v vezanih zemljinah. V vrtinah lahko izvajamo tudi meritve nivoja vod (piezometer), meritve vzdolžnih in prečnih premikov brežine/pobočja (inklinometer), meritve z ekstenziometri in podobno.

2.3.5 Geofizikalne metode

Z geofizikalnimi metodami želimo ugotoviti razmere v notranjosti plazine in v njeni podlagi. Geofizikalne metode služijo večinoma kot pomožne metode za določitev:

- oblike in globine drsine,
- prostorske definicije posameznih blokov ali razpok,
- preučevanje geoloških pogojev, ki niso drugače določljivi.

Uporabljajo se naslednje metode: geoelektrika, seizmika, karotaža, georadar, gravimetrija in magnetometrija.

2.3.6 Geomehanske laboratorijske raziskave

Z geomehanskimi laboratorijskimi raziskavami dobimo geomehanske karakteristike materialov. Za preiskave potrebujemo vzorce, ki morajo biti čimbolj reprezentativni in za večino preiskav intaktni (nepoškodovani). Minimalne laboratorijske preiskave zemljin iz plazu obsegajo določitev:

- prostorninske in specifične mase zemljine,
- poroznosti in vodoprepusnosti zemljine,

- tlačne, strižne in natezne trdnosti
- kohezije in strižnega kota,
- ter ostalih deformacijskih parametrov.

2.3.7 Opazovanja

Opazovanje (monitoring) je metoda, s katero določamo smer in hitrost gibanja plazu ter njegovo globino.

Prav tako želimo dobiti podatke o vplivih, ki povzročajo drsenje. Najbolj pogoste metode so:

- meritve deformacij na površini telesa plazu,
- meritve nivoja vode (piezometri),
- določanje globine plazenja,
- meritve z inklinometri,
- meritve z žičnimi ekstenziometri in
- testi vodoprepustnosti.

2.4 Analiziranje plazov

2.4.1 Drsine in stabilnostne analize

Naravna pobočja so nastala zaradi premikov v zemeljski skorji in zaradi degradacije površine (erodiranje, transport in odlaganje materiala). Brežine so umetna pobočja in so nastala posredno s posegom človeka (vkopi in nasipi). Pobočja in brežine bodo v mirovanju, dokler bo strižna trdnost tal večja od strižnih napetosti zemeljske mase nad temi tlemi. Sprememba strižnih napetosti ali strižnih napetosti tal pod pobočjem ali brežino, lahko povzroči premikanje zemeljskih mas. Stabilnost pobočij in brežin preučujemo s stabilnostnimi analizami. Najpogosteje se uporablja metoda potencialnih porušnih ploskev.

Metode stabilnostne analize delimo na: rezultatne, lamelne in analiza stabilnosti po metodi končnih elementov (MKE).

Rezultantna metoda

Z rezultantno metodo analize preiskujemo ravnovesje tal med površjem pobočja in izbrano potencialno porušnico kot ravnovesje enega samega homogenega in togega telesa. Vzdolž vse potencialne porušnice je hkrati mobilizirana enaka stopnja trdnosti. Metoda se lahko uporablja za različne tipe potencialnih porušnic.

Lamelna metoda

Pri lamelni metodi analize s potencialnimi porušnicami privzamemo, da se sestoji potencialno drsno telo iz več lamel (rezil) s paralelnimi mejami med lamelami. Ravnovesje vsake lamele se obravnava posamično, upoštevajoč notranje sile ob mejah sosednjih lamel in robne pogoje po obodu vsake posamezne lamele.

MKE

Pri analizi po MKE razdelimo preiskovalno področje na poljubno izbrane zaključene in med seboj povezljive elemente, z analizo pa dobimo pomike in faktor varnosti analiziranega področja.

2.5 Numerične metode izračuna stabilnosti

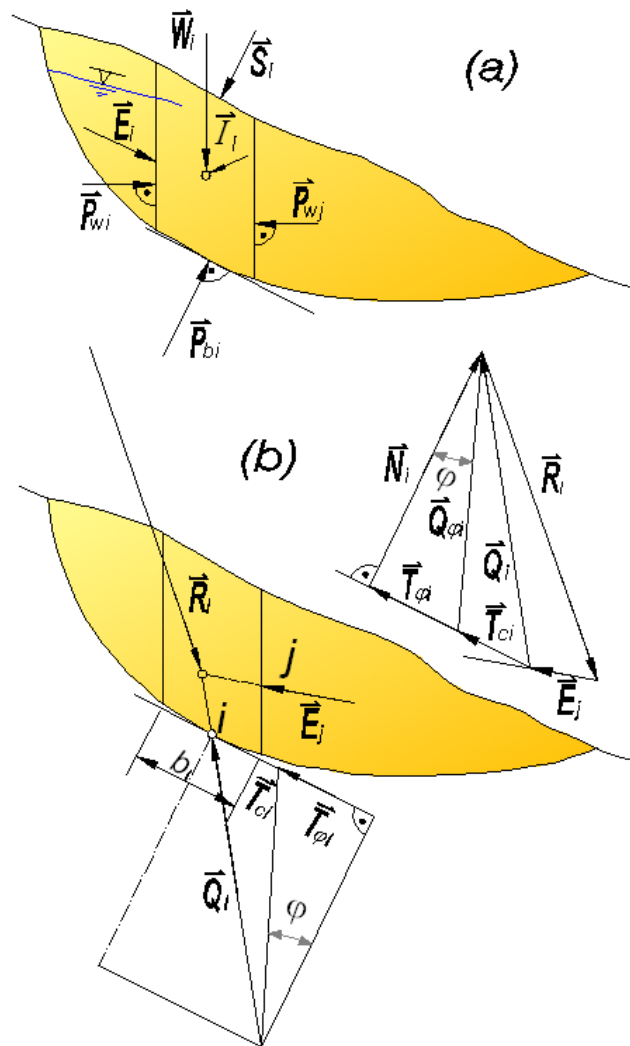
Pri numeričnih metodah moramo izraziti ravnovesne pogoje za določen sistem sil, ki deluje na izbrani prerez pobočja v analitični obliki. Pri tem moramo upoštevati:

- sovisnost med normalnimi komponentami (N) in tangencialnimi komponentami (T) reakcijskih sil najpogosteje po Mohr-Coulombovem kriteriju porušitve,
- predpostavke s katerimi odpravimo statično nedoločljivost sistemov.

Janbujeva in Bishopova metoda temeljita na lamelni metodi analize. Za numerično uporabo moramo izraziti ravnovesne pogoje za sistem sil, delujočih na posamezno lamelo (slika 5) v analitični obliki. Možne predpostavke pri lamelnih metodah so:

- znani sta lega in smer reakcijskih (notranjih) sil \vec{E}_j ;

- znane so lege vseh reakcijskih sil \bar{E}_j in \bar{Q}_i (oz. \bar{N}_i);
- za vse lamele znane lege sil \bar{Q}_i (oz. \bar{N}_i); in velikost navpičnih (tangencialnih) komponent \bar{Y}_i sil \bar{E}_j .



Slika 5: Laminalna metoda stabilnostne analize pobočja: a) znane sile za lamelo i, b) določitev neznanih sil E_j in Q_j . (Šuklje, 1984).

2.5.1 Bishopova metoda

Leta 1954 je Bishop podal numerične rešitve, ki pa so uporabne le za krožne potencialne porušnice. Rešitev je izvedena iz ravnovesnih pogojev za navpično smer in iz momentnih pogojev glede na središče krožne porušnice; pogoje postavimo za vsako lamelo in jih za vse lamele seštejemo. Zadovoljiva aproksimacija se dobi, če se za vse lamele predpostavi, da je razlika tangencialnih komponent $T_{i-1} - T_i$ nična.

2.5.2 Janbujeva metoda

Za poljubne oblike potencialnih porušnic je Janbu leta 1957 prikazal prve metode numeričnih rešitev. Janbu predpostavlja lego resultantnih reakcij v sredini baze vsake lamele, lega totalne reakcijske (notranje) sile \bar{E}_j^* ob vertikalni meji lamele (po sliki 5 rezultanto sile hidravličnega pritiska \bar{P}_{wj} in efektivne reakcijske sile \bar{E}_j , ki učinkujeta na nižje ležečo vertikalno mejno ploskev lamele i , t.j. $\bar{E}_j^* = \bar{E}_j + \bar{P}_{wj}$).

2.5.3 Metoda končnih elementov (MKE)

Razvoj geomehanike, kakor tudi hiter razvoj računalništva, sta omogočila uporabo numeričnih metod, posebno metode končnih elementov, pri reševanju geotehničnih problemov, v katere spadajo tudi raziskave sekundarnih napetosti deformacijskih stanj v hribini. Pri reševanju konstrukcijskih problemov po numerični poti, so se v preteklosti opirali predvsem na diferenčne metode in metode numerične integracije. Izhodišča teh metod so bile transformacije ustreznih diferencialnih enačb v diferenčne. Ker vsaki vrsti konstrukcijskega elementa, na primer: linijski element, ploskovni element (stena, plošča), prostorski element, ustreza svojstvena diferencialna enačba, so diferenčne metode omejene le na konkretni konstrukcijski element. Pri reševanju kompleksnih konstrukcij pa običajno nastanejo nepremostljive težave. Tako je danes MKE najuspešnejša metoda za reševanje problemov kontinuumov¹. (Prelog, 1975)

MKE uporablja matrično algebro ob diskretizaciji poljubne konstrukcije na ustrezne končne elemente. Osnovne koncepte te metode je prvi objavil Argyris v letih 1954-1955. Sprva se je

¹ kontinuum – nepretrganost, neprekinjenost, povezanost

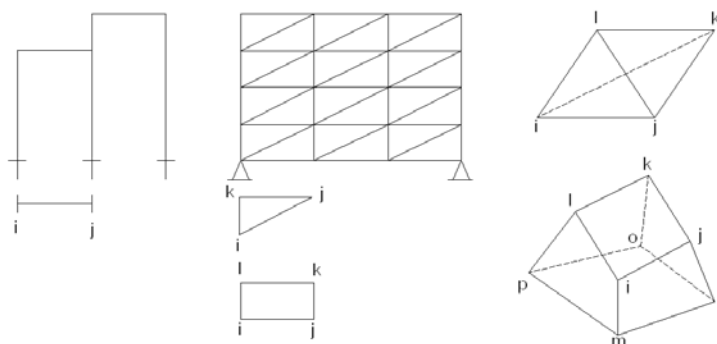
MKE razvijala na področju statike linijskih konstrukcij, danes po 50. letih razvoja, pa je razširjena na skoraj vsa področja mehanike in na nekatera področja fizike in numerične matematike.

Postopek reševanja z MKE je podoben splošno znanemu načinu razmišljanja pri reševanju tehničnih, inženirskih (ali drugih) problemov, kadar je problem preveč kompleksen, da bi ga bilo mogoče naenkrat v celoti razumeti. Takrat namreč postopamo tako, da celoten problem (sistem) razdelimo v posamezne komponente, katerih lastnosti in značilnosti so očitno razumljive, nato pa skušamo celoten problem rešiti tako, da iz razumljivih komponent ponovno zgradimo celoten sistem in ugotovljamo logičnost rešitve takega globalnega sistema.

2.5.3.1 Splošne osnove MKE

MKE je zasnovana tako, da je mogoče z enovitim postopkom reševati tako linijske probleme, ploskovne probleme, kot tudi konstrukcije v obliki teles. To pomeni, da so konstrukcije lahko sestavljene iz poljubnih kombinacij zgoraj naštetih elementov. To je velika prednost MKE pred ostalimi numeričnimi metodami, kjer povzročajo takšne kombinacije pri reševanju velike težave. (Prelog, 1975)

Kadar uporabljamo MKE za reševanje neke konstrukcije, razdelimo le-te na končne elemente (kontinuum diskretiziramo). Tako dobimo za linijske konstrukcije elemente v obliki nosilcev, za ploskovne konstrukcije trikotnike in četrkotnike ter za konstrukcije v obliki teles tetraedre, heksaedre itd. (slika 6).



Slika 6: Diskretiziranje kontinuuma (Prelog, 1975).

Vsi ti elementi so preko vozlišča končnih elementov povezani med seboj tako, da tvorijo prvotno celotno konstrukcijo.

Ko izberemo ustrezne končne elemente, poiščemo z uporabo enačb elastomehanske zveze med pomiki v polju elementa in pomiki v vozlišču elementa. Tako dobimo osnovno enačbo končnega elementa, v kateri so neznanke vozliščni pomiki. Osnovne enačbe posameznih končnih elementov združimo v t.i. enačbo konstrukcije, ki je sistem linearnih enačb. Sistem linearnih enačb rešimo ob upoštevanju robnih pogojev in zunanjih obremenitev.

Z razvojem MKE se je izkazalo, da ima deformacijska metoda v večini primerov bistveno prednost pred metodo sil. (Prelog, 1975)

2.5.4 Računalniški program PLAXIS 2D

PLAXIS 2D je programski paket, namenjen reševanju širokega spektra geotehničnih problemov pri opravljanju deformacijskih, napetostnih ali stabilnostnih analiz. Probleme rešuje po metodi končnih elementov. Situacije lahko modeliramo z ravninskim ali pa osnosimetričnim modelom. Za simuliranje nelinearnega, časovno odvisnega in anizotropičnega obnašanja zemljine lahko uporabimo vrsto konstitutivnih modelov, od osnovnejših, kot sta linearno-elastični in Mohr-Coulombov model, do mnogih naprednejših konstitutivnih modelov (npr. modela Soft-Soil Creep in Hardening Soil).

Delo s programom PLAXIS je razmeroma enostavno. Najprej v program vnesemo geometrijo prečnega prereza. Geometrijo vnašamo s pomočjo točk, ki jih med seboj povežemo s črtami in tako tvorimo zaključene geometrijske like – mnogokotnike. Na voljo so nam tudi nekateri posebni elementi, namenjeni natančnejšemu modeliranju, npr. plošče (ang. plate), namenjeni modeliranju vitkih elementov (AB plošč, sten itd.), geomreže (ang. geogrid), namenjeni modeliranju samo natezno obremenjenih vitkih elementov (npr. geotekstili, vezni deli geotehničnih sider), sidra (ang. node-to-node anchor), namenjena modeliranju natezno in tlačno obremenjenim elementom, ki so vpeti v mrežo samo v začetni in končni točki (npr. prosti del geotehničnega sidra). Vnesemo lahko tudi točkovno in linijsko obtežbo, s katero simuliramo posebno obremenitev (zgradbe, prometna obtežba ...).

Ko končamo z vnosom geometrije, vsakemu liku in elementu določimo materialne karakteristike (npr. γ , c , φ , E za zemljine, EI in EA za AB plošče itd). Naslednji korak je izdelava mreže končnih elementov. PLAXIS omogoča avtomatsko generiranje mreže trikotnih elementov. Izberemo lahko poljubno gostoto mreže, od zelo grobe do zelo drobne.

Mrežo lahko še dodatno zgostimo v izbranih likih ter črtah ali okoli izbranih točk. Običajno izdelamo mrežo, ki je bolj drobna na bistvenih delih prereza in bolj groba na manj pomembnih delih prereza (npr. v spodnjih in robnih plasteh).

Ko smo vnesli vso potrebno geometrijo, preidemo v podprogram za računanje – PLAXIS CALCULATION. Delo je od tu dalje fazno. V vsaki fazi lahko poljubno vklopamo in izklopamo posamezne like in elemente in s tem simuliramo izkop ali nasutje materiala, vgradnjo ali odstranitev objektov, aktivacijo ali deaktivacijo zunanje obežbe in na ta način simuliramo vrstni red gradnje. Poseben tip faze pa je t.i. "Phi/c reduction", v kateri reduciramo materialna parametra strižni kot (φ) in kohezijo (c) toliko časa, da pride do porušitve in na ta način določimo varnost situacije – količnik varnosti (F_S).

Po končanem računu si lahko rezultate ogledamo v izhodnem podprogramu – PLAXIS OUTPUT. Za vsako posamezno fazo lahko pogledamo velikosti deformacij, napetosti, pornih tlakov, itd. Lahko si ogledamo tudi prirastke deformacij, ki nam lepo pokažejo položaje potencialnih drsin ob porušitvi.

2.6 Ukrepi za stabilizacijo plazov

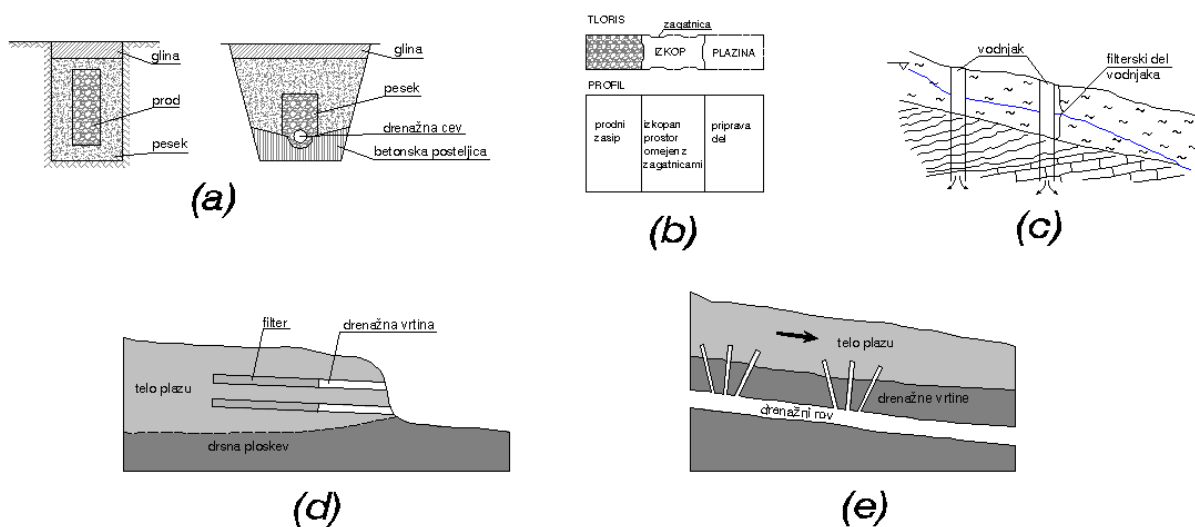
2.6.1 Odvodnjevanje in dreniranje

Ukrepe odvodnjavanja delimo na ukrepe, ki preprečujejo pritekanje vode in na ukrepe znižanja nivoja podtalne vode v plazini. Nivo podtalne vode v plazini je odvisen od dotekanja vode v plazino (Q_{dot}) in od izcejanja iz nje (Q_{odt}). Zato želimo s površinskim odvodnjavanjem čimbolj izboljšati odnos Q_{dot} / Q_{odt} . Če je to razmerje manjše od 1, potem bo nivo podtalnice v plazini padal in obratno.

Dotekanje vod v plaz preprečimo s površinskim lovilnim jarkom nad najvišjim odlomnim robom plaz. Jarek lociramo na stabilen teren tako, da ne predstavlja potencialne nevarnosti širjenja plazenja. Tok vode v jarku mora biti dovolj hiter, da voda v jarku ne zastaja. Ob bokih plaz vodo odvedemo z odvodnim jarkom zunaj nestabilnega področja. Dno jarka mora biti neprepustno za vodo. Najkvalitetnejša izvedba stabilizacije jarka so betonske koritnice. Zelo uporabne so tudi lesene koritnice, koritnice iz lahkih materialov, plastične folije in izolacija dna jarka z neprepustnimi materiali (npr. glino). (Ribičič, 1997)

Za znižanje nivoja vode v plazini uporabljamo drenažni sistem. Uspešnost dreniranja je odvisna od prepustnosti zemljine, ki jo dreniramo. Dreniranje nam daje zelo dobre rezultate predvsem v glinastih, meljastih in peščenih zemljinah. Gostota drenaž je odvisna od prepustnosti zemljine in željenega efekta znižanja nivoja podtalnice. Drenažni sistemi se pogosto kombinirajo s površinskim odvodom vode. (Ribičič, 1997)

Drenažni objekti so prikazani na sliki 7.



Slika 7: Vrste drenaž: (a) jašek, (b) zasek, (c) vodnjak, (d) horizontalna vrtina, (e) rov (Ribičič, 1997).

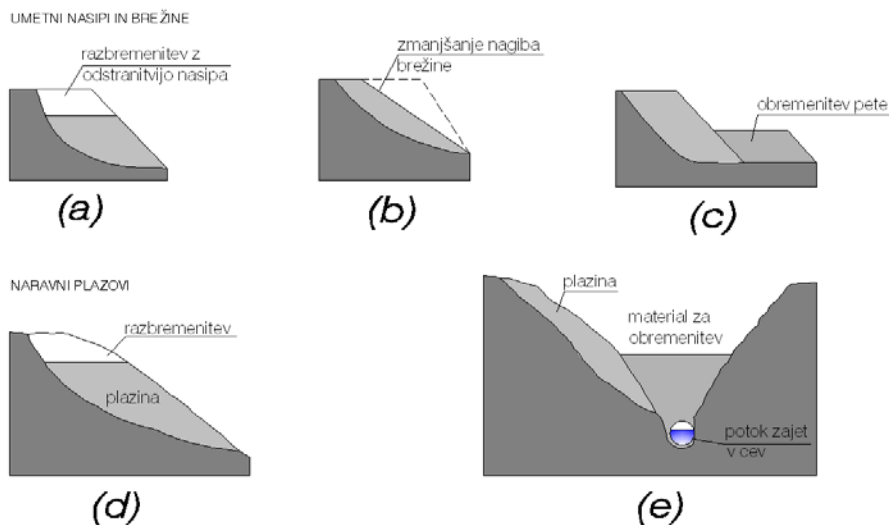
Z dreniranjem in odvodnjavanjem znižujemo nivo podtalne vode, težo, vzgon in zmanjšujemo porni pritisk, kar utrdi teren oziroma poveča stabilnost pobočja ali brežine.

2.6.2 Premeščanje zemeljskih mas

Premeščanje zemeljskih mas se izvede zato, da dobimo stabilnejše stanje. Najpogosteje se uporabljajo trije ukrepi:

- zmanjšanje nagiba pobočja,
- razbremenitev na zgornjem delu plazju in
- obremenitev pete plazju.

Izbira ukrepa je odvisna od morfologije terena. Na sliki 8 so prikazani razni ukrepi s premestitvijo zemeljskih mas. (Ribičič, 1997)



Slika 8: Različni primeri ukrepov s premestitvijo zemeljskih mas: (a) odstranitev nasipa (b) zmanjšanje nagiba, (c) obremenitev pete, (d) razbremenitev, (e) dreniranje (Ribičič, 1997).

Vzdrževanje drenažnega sistema

Pri načrtovanju drenažnih ukrepov je potrebno veliko pozornosti posvetiti vzdrževanju, oz. dostopnosti drenažnih cevi za vzdrževalne aktivnosti. Nevzdrževane drenaže, oz. neprimerno vzdrževane drenaže so samo kratkoročno učinkovite. Zaradi tega neprimerno vzdrževane drenažne sisteme ne moremo uporabiti kot zanesljivi ukrep za stabilizacijo brežin.

2.6.3 Stabilizacija zemljin

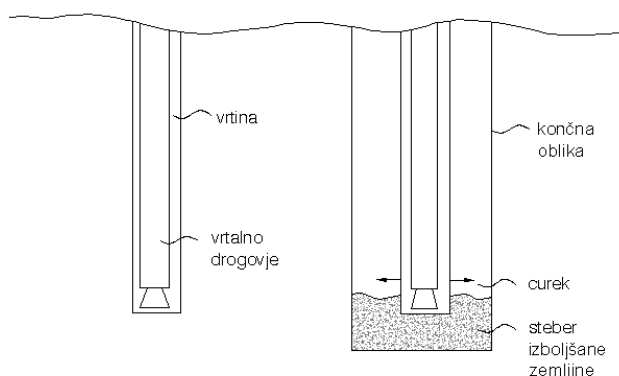
To so metode s katerimi izboljšamo geomehanske lastnosti zemljin v območju drsine. Strižne karakteristike je potrebno povečati do mere, da je plazina stabilna.

Poznane so naslednje metode: injektiranje, termična obdelava, elektroosmoza, mehanske stabilizacije in vegetacija.

Injektiranje

Dobro prepustno zemljino injektiramo s cementnimi, slabo prepustno pa s kemičnimi injekcijami – običajno na osnovi silikatov. Princip injektiranja je naslednji: v določenih razdaljah se zvrta vrtine ali zabijejo cevi skozi plazino. Cevi, ki se jih položi v te vrtine so v spodnjem delu perforirane. Na posamezno cev se priključi tlačna črpalka. S črpalko vtiskamo injekcijsko maso. Postopati je potrebno zelo previdno, ker pri injektiranju povečamo porni tlak in s tem zmanjšamo lokalni odpor proti drsenju. V času injektiranja je potrebno opazovati pomike reperjev. V primeru drsenja je potrebno postopek injektiranja prekiniti in odstraniti opremo. Cevi, ki so že položene v vrtine, ne odstranjujemo, ker bi s tem še povečali nestabilnost plazine. (Ribičič, 1997)

Novejši postopek injektiranja je »injektiranje s curkom« (Jet Grouting), ki je prikazan na sliki 9.



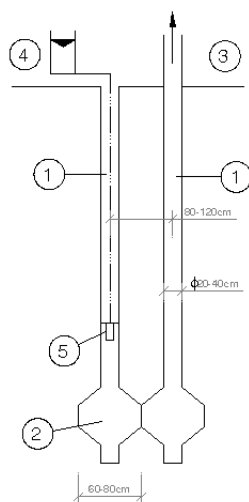
Slika 9: Injektiranje s curkom.

Pri tem načinu izstopa cementna suspenzija, ki jo injektiramo v cev, iz cevi skozi šobe z zelo veliko hitrostjo. Curek zemljino ob vrtini »reže« in pomeša s suspenzijo in tako nastanejo stebri utrjene zemljine.

Razlika med injektiranjem v klasičnem pomenu besede in injektiranjem s curkom je v tehnologiji in v učinku. Pri klasičnem injektiranju zapolnjujemo praznine v zemljini in pritisk

služi za gibanje injekcijskega materiala po porah. Pri injektiranju s curkom zemljino »pomešamo« z injekcijskim materialom, s pritiskom pa uravnavamo curek.

Termična obdelava



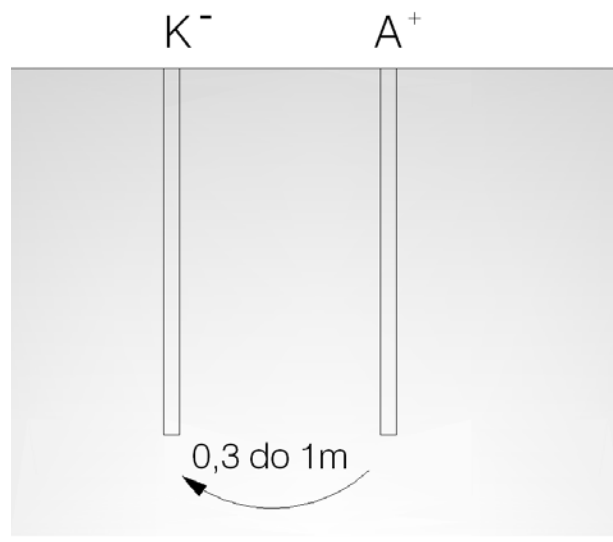
Slika 10: Prikaz dveh vrtin z razširitvijo za termično obdelavo (stabilizacijo)
(Nonveiller, 1987).

Z zmanjšanjem vlage tal pri vezanih sedimentih se povečuje kohezija in trdnost. V nekdanji SSSR je v 50-ih letih uporabljen postopek, pri katerem se vlaga iz por odstranjuje s povečanjem temperature. Izvrtata se dve vrtini, ki segata pod ravnino drsenja. Vrtini sta premera 20-40 cm in na dnu medsebojno povezani. V eno od vrtin se namesti gorilnik, v katerem izgoreva gorivo. Segreti zrak suši okolni material, kot je to prikazano na sliki 10.

Iz posamezne vrtine se osuši okolica vrtine v premeru okoli 1,5 m. Tla se pri termični stabilizaciji »spečejo«. (Nonveiller, 1987)

Termična stabilizacija se običajno uporablja za lokalno povečanje stabilnosti in nosilnosti pod objekti, le redko za celoten plaz.

Elektroosmoza



Slika 11: Elektroosmoza

Elektroosmoza je postopek, pri katerem iz zemljin odstranimo vodo, ki je vezana v strukturi. Postopek elektroosmoze je naslednji:

V glino, ki jo želimo osušiti, vgradimo na majhni razdalji katodo (K) in anodo (A), kot je prikazano na sliki 11 in ju priključimo na istosmerno napetost. S tem je tok čim večji, voda pri tem razpade na vodikov kation (H^+) in kisikov anion (O^{2-}).

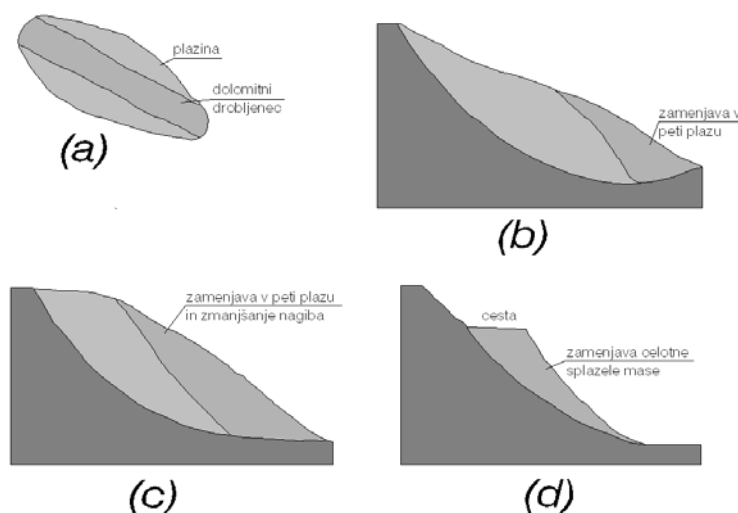
Drugi postopek je, da v tla vgradimo, na razdalji nekaj metrov, dve vrsti drenažnih cevi in ju priključimo na istosmerno napetost. Na katodni cevi črpamo vodo. V tem primeru električni tok povzroči gibanje vode in omogoči povečanje moči črpanja vode za nekajkrat. Poraba električnega toka je zelo velika in je zato ta metoda draga.

Mehanske stabilizacije

Pri mehanski stabilizaciji uporabimo mehanska sredstva za povečanje strižne trdnosti oziroma trenja v področju drsine. Najuporabnejši mehanski načini stabilizacije so: zbijanje tal, menjava materiala, leseni piloti in mikropiloti.

Zbijanje tal uporabljamo v peščeno–meljnih zemljinah, kjer izvajamo z udarnimi in vibracijskimi stroji. Zbijanje je najuspešnejše pri »optimalni vlagi«, zato moramo pri tem načinu pogosto vodo tudi dodajati.

Pri manjših plazinah stabilnosti dosežemo tako, da celotno oziroma del plazine zamenjamo z materialom, ki ima višje strižne karakteristike (slika 12). Zamenjan material (ponavadi dolomiti, drobljenec ali prod) naj imajo visoko prepustnost in omogočajo dreniranje preostale plazine.



Slika 12: Prikaz zamenjave materialov: (a) menjava osrednjega dela plazine z dolomitnim drobljencem, (b) menjava plazine v peti plazu, (c) menjava v spodnji polovici plazine in zmanjšanje nagiba, (d) menjava celotne plazine (Ribičič, 1997).

Pri plitvih plazovih in sorazmerno rahlih plazinah stabilnost povečamo z zabijanjem lesenih pilotov skozi plazino in vsaj 1m v trdno podlago. Lesene kole zabijamo v spodnji polovici plazu.

Mikropiloti so piloti manjšega premera, izdelani z vrtanjem in injektiranjem. Pri vrtanju se ostenje vrtin sproti zavaruje z zaščitno cevjo. Po končanem vrtanju se ta cev zainjektira in predstavlja »armaturo« mikropilota. Mikropilot je tako praviloma sestavljen iz cevi in cementnega kamna. Pri sanaciji plazov imajo mikropiloti podoben učinek kot leseni piloti.

Vegetacija

Pogosto plaz lahko stabiliziramo z vegetacijo. Vegetacija lahko utrdi nestabilno področje na več načinov. Pomen vegetacije za stabilnost preperinskega pokrova je najbolj razvidna iz dejstva, da se številni plazovi sprožijo prav zaradi odstranitve vegetacije. (Ribičič, 1997)

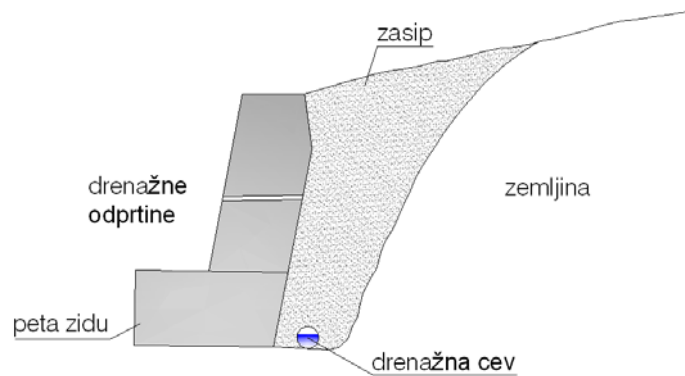
Učinek vegetacije je sledeč: zaščita površine pred delovanjem sonca, vetra, dežja in temperaturnih sprememb (zmanjševanjem erozije); povečani površinski odtok oziroma zmanjšanje pronicanja vode v in skozi tla; črpanje vode iz tal in s tem njihovo osuševanje; in utrjevanje zgornjega preperinskega sloja s koreninami in s tem povečana trdnost preperine.

Po vsaki sanaciji moramo izvesti ponovno nasajanje (rekultivacijo) pobočja. Najpogosteje uporabljajo zatravitev. Še posebej dobri efekti so z zasaditvijo dreves (akacija), ki črpajo veliko vode. Pomembno je tudi ali so korenine dreves plitve ali globoke in kakšna vrsta dreves je rasla pred nastankom plazu. Tudi debeline in višine dreves ne gre zanemariti, saj bistveno vplivata na obtežitev pobočja. V primerih, ko so pobočja strma in se vegetacija ne bi obdržala, se izvede biotorkret. Postopek je za vsako pobočje različen, vendar je splošen naslednji:

- pobočje pokrijemo s slamo ali s humusno zemljo. Pri uporabi humusne zemlje moramo na razdalji od 1-3 metrov izdelati zadrževalnike zemlje,
- po potrebi celotno pobočje pokrijemo z mrežo, ki je začasna, dokler se vegetacija ne vraste. Mreže dodatno preprečujejo padanje kamenja in manjše odlome.

2.6.4 Podporni zidovi

Podporni zid izvajamo ponavadi v povezavi z drugimi objekti, kot so ceste, železnice ipd. Postavljen in oblikovan mora biti tako, da zajame vse drsne površine. Zgrajen mora biti na spodnjem robu plazu in dimenzioniran tako, da zagotavlja stabilnost pobočja (slika 13). Za zidom vedno izvedemo drenažo in tako preprečimo hidrostatični tlak oziroma zmanjšamo obremenitve na zid.

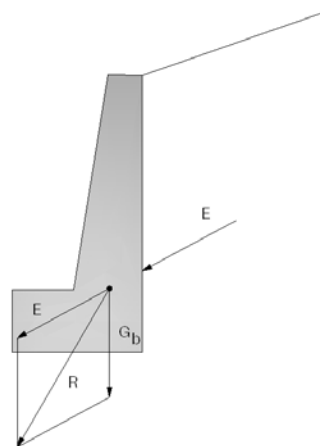


Slika 13: Težnostni podporni zid (Ribičič, 1997).

Sile, ki jih mora zid prevzeti, se določijo s stabilnostno analizo. Zid mora prenesti aktivne sile plaz v stabilna in neporušena tla. Glede na prenos sil in način izvedbe lahko podporne zidove delimo na: težnostne, sidrane in vkopane.

Težnostni zidovi

Težnostni zid mora biti dimenzioniran tako, da poteka rezultanta aktivnih sil (zaledni pritisk in teža zidu) skozi temeljno ploskev in pri tem ne prekorači dopustne obremenitve tal (slika 14).



Pojasnilo oznak: E = aktivna sila (zaledni pritisk), G_b = sila teže zidu, R = rezultanta

Slika 14: Delujoče sile na podporni zid.

Težnostni zidovi so lahko betonski, iz kamnitih zložb ali armirane zemljine. Kamnite zložbe so lahko iz kamnitih blokov, gabionov ali kašt. Kašte so armirani betonski ali leseni elementi, iz katerih se formira obod zidu (posamezne lamele in njihove medsebojne povezave), notranjost pa je običajno zapolnjena s kamnitim materialom.

Gabioni so izdelani iz mreže (pocinkana žica). Mreža je povezana v obliki zabojev in napolnjena z gruščnatim in prodnim materialom. Zidovi iz gabionov in kašt se uporabljajo za saniranje manjših nestabilnih pobočij. Prednost teh zidov je v njihovi hitri izvedbi. Zid takoj po izdelavi prevzame svojo funkcijo. Istočasno nam ta zid predstavlja drenažni material in ni potrebno izvajati dodatnega odvodnjevanja.

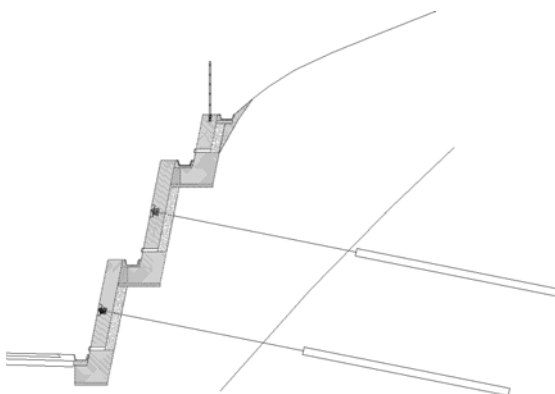
Zid iz armiranih zemljin je težnostni zid, sestavljen iz prefabriciranih plošč s trakovi in zasipa (zbite zemljine).

Plošče predstavljajo vidno stran zidu, trakovi pa so položeni v zasip in ga s tem armirajo. Sile na plošče se s tresenjem med trakovi in zemljino prenašajo v zasip.

Za vsak težnostni zid je potreben izklop, kar pomeni zmanjšanje stabilnosti plazine. Zato se priporoča gradnja po posameznih lamelah.

Sidrani zidovi

Sidran zid je armirano – betonska konstrukcija, kjer so sidra sidrana v podlago pod plazino (slika 15).

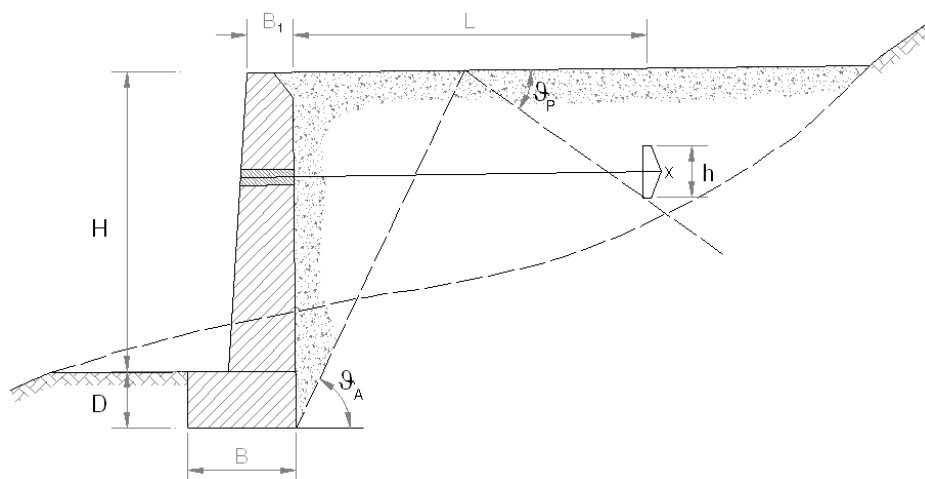


Slika 15: Sidrani zid.

Preko sidra se sile, ki delujejo na podporni zid prenesejo na izbrano mesto pod drsino. Sidro je izdelano tako, da je vpeto le v zadnjem t.j. v veznem delu sidra, ki sega v podlago plazine (neporušeno podlago). Sidro po izdelavi zidu prednapnemo in tako vnesemo aktivne sile, ki zagotovijo stabilnost plaz.

Za zidove, kjer je zaledna hribina predaleč, je možno uporabiti vezi, ki povezujejo zidove s sidrnimi bloki (slika 16).

Višina bloka h mora zagotoviti dovolj velik odpor za vez. Blok mora biti toliko oddaljen od zidu, da se ne poveča aktivni zemeljski pritisk na zid. Na sliki je to izven območja omejenega s prekinjeno črto.

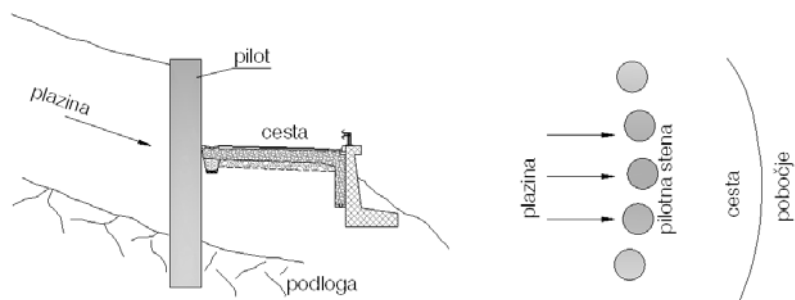


Slika 16: Zid z vezjo in sidrnim blokom (Nonveiller, 1979).

Podobno kot za težnostni zid je tudi za sidrani zid potreben izkop, vendar bistveno manjši.

Vkopani zidovi

Vkopani zid se izvaja z vrtanjem ali kot uvrčan pilot ali kot debelostenska diafragma. Pri uvrčanih pilotih predstavlja zaščito ostenja vrtina (običajno) z zaščitno cevjo, pri debelostenskih zavesah pa z vrtalno tekočino - (običajno z bentonitno izplako). Tak zid se lahko izdelata tudi globoko v podlago (stabilna tla) in dimenzionira kot konzola (slika 17).

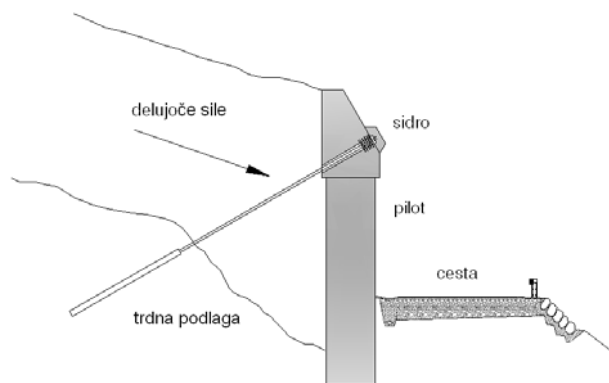


Slika 17: Pilotna stena (Ribičič, 1997).

Vkopani zid je posebno primeren za sanacijo, kadar

- v času izgradnje ne zmanjšujemo stabilnostnih razmer,
- je možno bolje izkoristiti stabilnost tal pred zidom,
- je s sidranjem možno zagotoviti stabilnost v vsaki fazi izkopa pred zidom.

Pogosto pilote zasidrano (slika 18) in tako dobimo konstrukcije, ki so istočasno vpete v temeljna tla in zasidrane v trdno podlago pod drsino.



Slika 18: Sidrna pilotna stena (Ribičič, 1997).

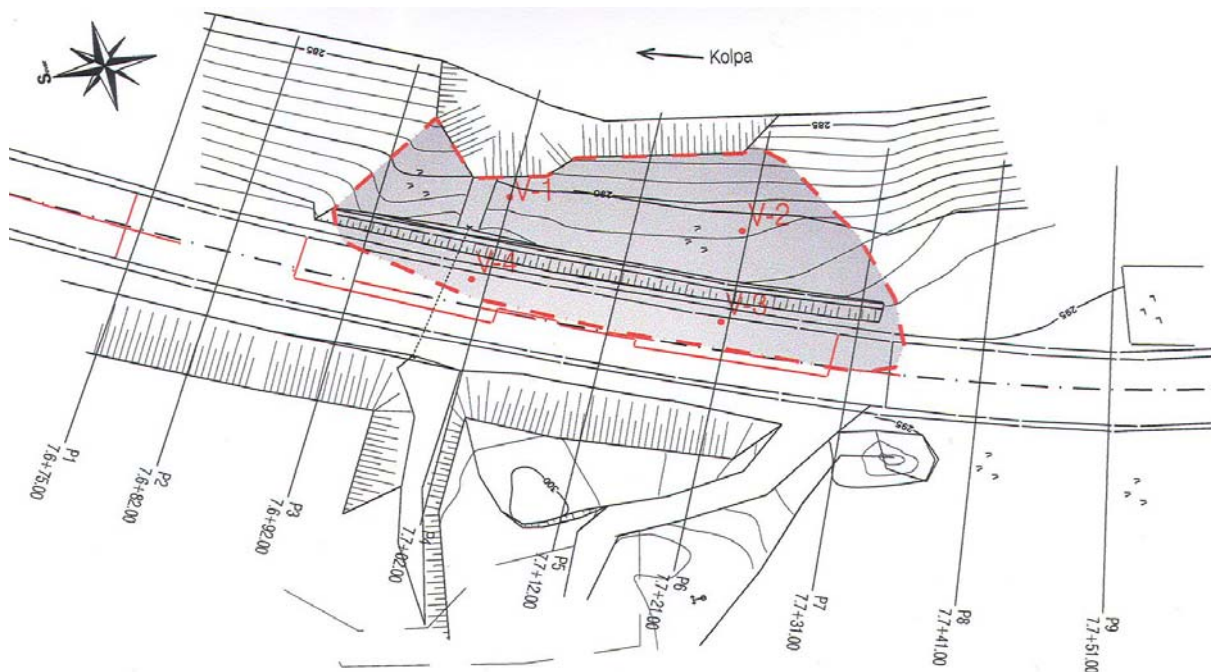
3 GEOLOŠKO GEOTEHNIČNE RAZMERE NA PLAZU IN USADU »OSILNICA«²

3.1 Splošno

Na regionalni cesti R3-657/1345 Gašparci – Osilnica sta na medsebojni razdalji cca. 200 m dva pojava nestabilnosti: plaz v km 7,600 in usad v km 7,800. Izvedenih je bilo devet (9) sondažnih vrtn, ki segajo cca. 2–4 m v kompaktno hribinsko podlago. Skupna globina vrtnja je 82 m.

Plaz v km 7,6+82,00 do km 7,6+31,00

Na prvi lokaciji je plaz z odlomnim robom od polovice cestišča in izrivnim robom pod cesto. Pod cestnim nasipom je nepoškodovan podporni zid, vendar je ogrožena njegova globalna stabilnost. V prvem odseku so bile izvedene štiri (4) sondažne vrtnine V - 1 do V - 4. Vrtine in odlomni robovi so prikazani na sliki 19.

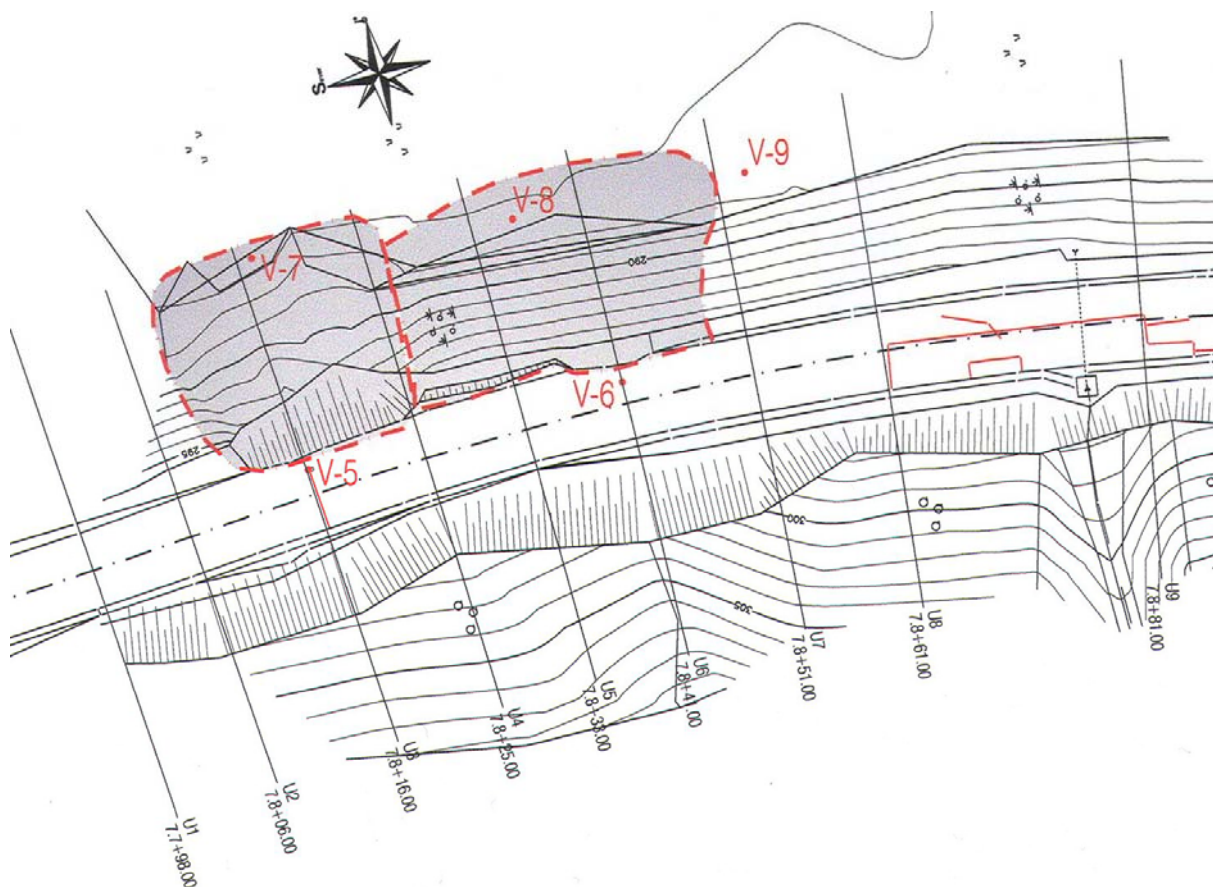


Slika 19: Geodetski posnetek plazu z vrtsanimi vrtninami (IRGO, Ljubljana, 2003).

² Vsa terenska in inženirsko-geološka dela omenjenega plazu in usada ter širše okolice obravnavanega območja je izdelalo podjetje Geoinženiring d.o.o.

Usad v km 7,8+98,00 do km 7,8+51,00

Na drugi lokaciji oddaljeni cca. 200 m poteka odlomni rob po robu asfalta, brežina je posedena, mestoma že tudi v celoti odnešena, tako da je potrebna delna zapora. Izvedeno je bilo pet (5) sondažnih vrtin V - 5 do V - 9, ki so prikazane na sliki 20.



Slika 20: Geodetski posnetek usada z vrisanimi vrtinami (IRGO, Ljubljana, 2003).

3.2 Sestava tal

Umetni nasip je odložen na prepereli hribinski podlagi v območju plazu (nad podpornim zidom) v debelini od 2,5 do 3,9 m, na območju usada pa v debelini do 0,8 m. Zameljen do zaglinjen grušč ima medzrnsko poroznost in je srednje prepusten.

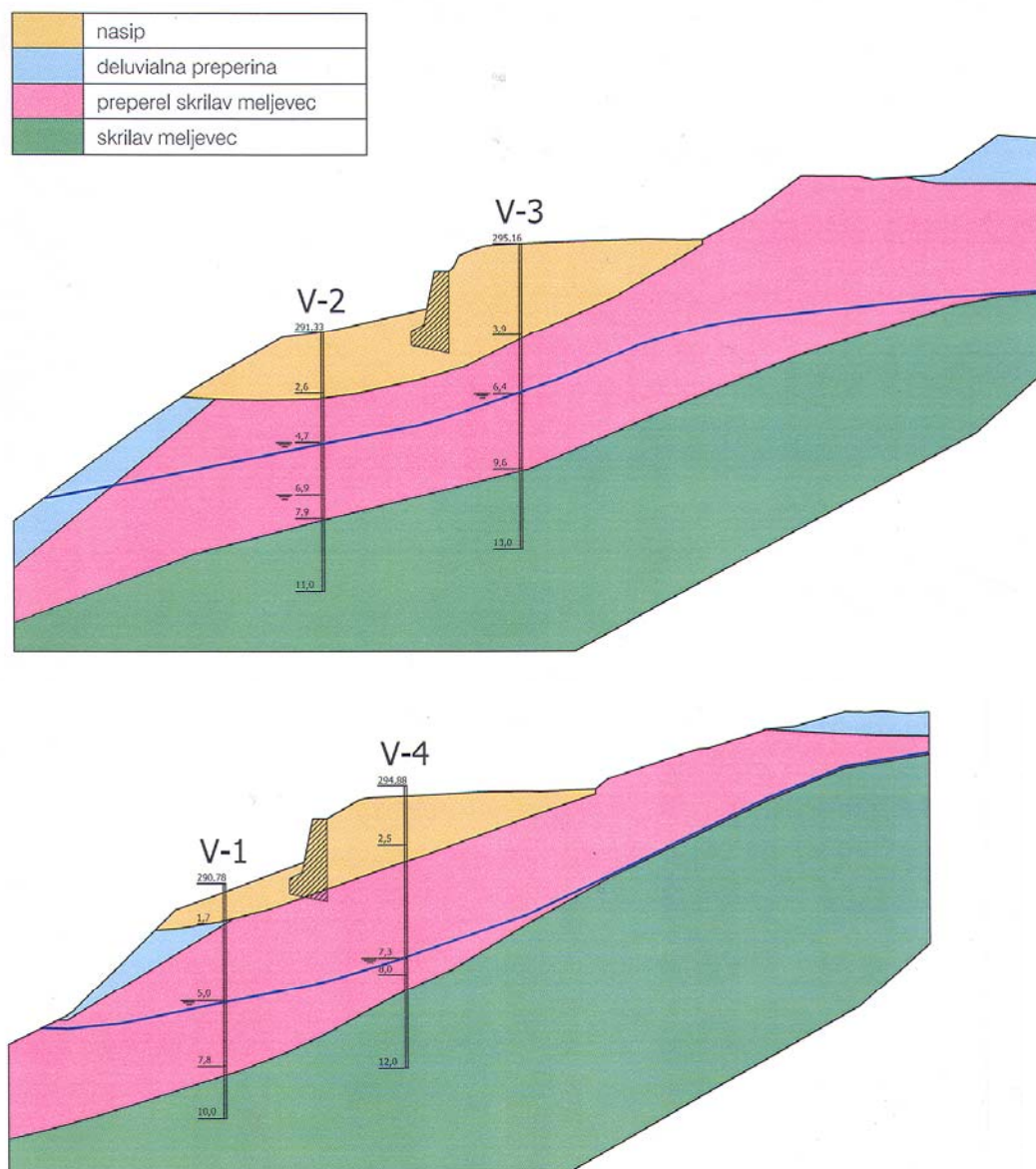
Preperina se nahaja v območju plazu in je deluvialno odložena le nad vkopno brežino v plasti debeline do 1,0 m; v debelini do 0,5 m pa tudi na brežini pod podpornim zidom, kjer je pretežno erodirana.

V območju usada se preperina nahaja pod cestnim nasipom v debelini od 3,2 do 3,6 m. Ima medzrnsko poroznost, vendar lahko zaradi večje vsebnosti glinastega veziva vsebuje tudi porno vodo. Je srednje do slabo prepustna in ob povišanih vodostajih v labilnem stanju.

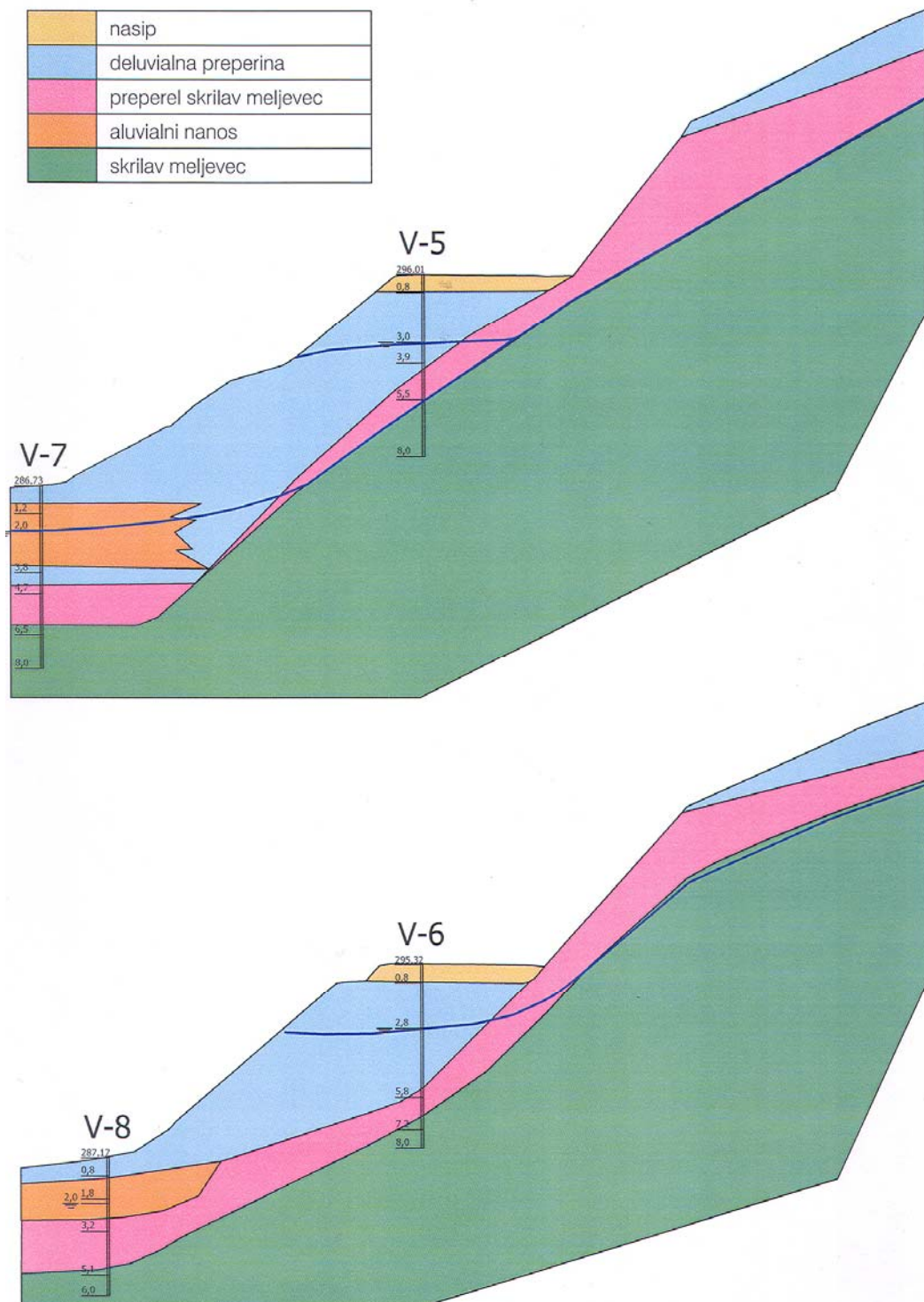
Aluvialni nanos je odložen na nizki terasni ravnici pod cesto v območju usadov v debelini 3,2 do 3,8 m. Voda ima zvezno gladino v spodnji srednji do prepustni peščeno prodnati plasti, na zgornji slabo do neprepustno peščeno glinasti do peščeno meljasti plasti pa zastaja. Ob pojavu naraščanja vod nastajajo zamočvirjene površine ob vznožju cestnega nasipa.

Permokarbonska hribinska podlaga je sestavljena iz zgornjega močno preperelega dela polhribin, ki z globino postopno prehaja v kompaktnjšo polhribino do mehko kamnino. Preperela hribina sega v območju plazu od 5,5 do 6,5 m globoko, v območju usadov, kjer jo prekriva preperinski sloj pa le od 1,2 do 2,5 m globoko. Zaradi lastnosti polhribine do zemljine ima medzrnsko, hkrati pa tudi porno poroznost. Je srednje do slabo prepustna. Tako se v njej pretaka in niha podtalnica, ki po upadu visoke vode še dolgo zastaja v najbolj zaglinjenih delih, kar povzroča nestabilnosti.

Kompaktna hribina ima v peščenjaku razpoklinsko poroznost. Zaradi prevladujočega skrilavega meljevca in skrilavega glinovca je slabo prepustna do neprepustna. Z globino vrednosti trdnostnih in deformacijskih lastnosti hribine naraščajo. Zaradi precejjanja vode po razpokah v peščenjaku (na področju večje razpoklinske poroznosti) lahko tudi globlje na stiku z mehkejšimi skrilavimi glinovci, ki tudi nabrekajo, posledično nastajajo oslABLJENE cone.



Slika 21: Prikaz prečnih geoloških profilov z vrisanimi vrtinami V-1 do V-4.



Slika 22: Prikaz prečnih geoloških profilov z vrisanimi vrtnami V-5 do V-8.

3.3 Terenske raziskave

Standardni penetracijski test (SPT)

SPT preizkusi so bili izvedeni v preperem do kompaktnem skrilavem meljevcu – (polhribini). V nadaljevanju so izvajali preizkuse v preperem skrilavem meljevcu s prehodi v skrilav glinovec (polhribini) in preperinski plasti zaglinjenega grušča ter umetnem nasipu zameljenega grušča in peščeno-meljastemrodu aluvialnega nastanka.

Dobljeni rezultati so pokazali, da je osnovna hribina zelo visoko do srednje penetrabilna. Skupaj je bilo izvedenih devetintrideset (39) SPT preizkusev. Izmerjeno vrednost N smo korigirali po standardu Eurocode 7-3.

$$(N_1)_{60} = N \cdot C_e \cdot \lambda \cdot C_N \cdot C_s \quad (4)$$

1. Umetni nasip: GM – GC (V - 3, V - 4)

$$\begin{aligned} N_{60} &= 10 - 12 \text{ udarcev;} \\ N_{kor 60} &= 7 - 9 \text{ udarcev;} \\ (N_1)_{60} &= 10 - 12 \text{ udarcev;} \end{aligned}$$

Indeks gostote: $I_d = 41 \% - 45 \%$.

2. Deluvijalna preperina: CL – GC (V - 4, V - 6)

$$\begin{aligned} N_{60} &= 12 - 21 \text{ udarcev;} \\ N_{kor 60} &= 9 - 17 \text{ udarcev;} \\ (N_1)_{60} &= 12 - 19 \text{ udarcev;} \end{aligned}$$

Indeks gostote: $I_d = 46 \% - 56 \%$.

3. Aluvijalni nanos: GC/ML – SU (V - 7, V - 8, V - 9)

$$\begin{aligned} N_{60} &= 7 - 20 \text{ udarcev;} \\ N_{kor 60} &= 5 - 13 \text{ udarcev;} \\ (N_1)_{60} &= 7 - 21 \text{ udarcev;} \end{aligned}$$

Indeks gostote: $I_d = 35 \% - 60 \%$.

4. Preperel skrilav meljevec s prehodi v glinast skrilavec (V – 1 do V - 9)

$$N_{60} = 12 - 59 \text{ udarcev};$$

$$N_{\text{kor } 60} = 11 - 56 \text{ udarcev};$$

$$(N_1)_{60} = 10 - 49 \text{ udarcev};$$

Indeks gostote: $I_d = 42 \% - 98 \%$.

5. Kompakten peščen meljevec s prehodi glinast skrilavec in peščenjak (V – 1 do V - 9)

$$p_{60} = 5 - 26 \text{ cm}/60 \text{ udarcev};$$

$$p_{\text{kor } 60} = 5 - 27 \text{ cm}/60 \text{ udarcev};$$

$$(p_1)_{60} = 6 - 27 \text{ cm}/60 \text{ udarcev};$$

Osnovna hribina je zelo visoko do srednje penetrabilna.

Preglednica 1: Vrednotenje rezultatov SPT po Eurocode 7-3 (Geoinženiring, Ljubljana, 2002).

VHODNI PODATKI										IZRAČUN											
ERr/60	1,21		Globočina zmanjšanja drogovišja d	Klasifikacija	N	Enačba za α_N	Dodatne korekcije za pesek		$(N_{1,60})_{c,2}$	σ_v	$L=z+d$	Korekcijski faktorji					Korigirane vrednosti				
	Nivo vode	Globočina					Fini/Grobi	Zasičeni				λ	α_N	α_{pas}	α_{cas}	N_{60}	$N_{kor,60}$	$(N_{1,60})_{st. ud.}$	b	P_{60}	$P_{kor,60}$
Vrtna	m	m	1, 2, 3	st. ud.	1, 2, 3	Zasičeni	Zasičeni	$(N_{1,60})_{c,2}$	kPa	m	λ	α_N	α_{pas}	α_{cas}	N_{60}	$N_{kor,60}$	$(N_{1,60})_{st. ud.}$	b	P_{60}	$P_{kor,60}$	$(P_{1,60})_{cm/60ud}$
V-5	3	2,3	GC/prep. skril.	25	2	/	/	60	46	3,6	0,75	1,22	1,00	1,00	30,25	22,69	27,67	0,679	/	/	/
V-5	3	3,7	GM/GC-prep. skr.	20	2	/	Zasičeni	60	72,5	5,55	0,85	1,10	1,00	1,00	24,20	20,57	22,65	0,614	/	/	/
V-5	3	5,8	skril. melj.	30	2	/	Zasičeni	60	97,5	8,05	0,95	1,01	1,00	1,00	36,30	34,49	34,77	0,761	/	/	/
V-5	3	8	skril. melj.	58	3	/	/	60	112,5	9,55	0,95	0,93	1,00	1,00	70,18	66,67	62,10	1,017	25,65	27,00	28,98
V-6	2,8	9,75	CL-GC	10	1	/	/	60	46	3,6	0,75	1,37	1,00	1,00	12,10	9,08	12,43	0,455	/	/	/
V-6	2,8	2,3	GC/prep. skril.	11	1	/	Zasičeni	60	70,5	5,55	0,85	1,17	1,00	1,00	13,31	11,31	13,27	0,470	/	/	/
V-6	2,8	5	prep. skril.	23	2	/	Zasičeni	60	95,5	8,05	0,95	1,02	1,00	1,00	27,83	26,44	26,84	0,669	/	/	/
V-6	2,8	7	skril. melj.	29	2	/	/	60	110,5	9,55	0,95	0,97	1,00	1,00	35,09	33,34	32,21	0,733	/	/	/
V-7	2	9,1	GC	17	1	/	/	60	43	3,6	0,75	1,40	1,00	1,00	20,57	15,43	21,58	0,600	/	/	/
V-7	2	10,2	prep. skril.	11	1	/	Zasičeni	60	69	6,2	0,95	1,18	1,00	1,00	13,31	12,64	14,96	0,499	/	/	/
V-7	2	2,3	prep. skril.	43	3	/	Zasičeni	60	86	7,9	0,95	1,09	1,00	1,00	52,03	49,43	53,86	0,947	/	/	/
V-7	2	4,25	skril. melj.	122	3	/	/	60	103	9,6	0,95	0,88	1,00	1,00	147,62	140,24	137,81	1,516	12,19	12,84	13,06
V-8	2	6,25	GC	11	1	/	/	60	43	3,6	0,75	1,40	1,00	1,00	13,31	9,88	13,96	0,482	/	/	/
V-8	2	8,25	prep. skril.	44	3	/	Zasičeni	60	63	5,6	0,85	1,28	1,00	1,00	53,24	45,25	57,84	0,862	/	/	/
V-8	2	11,25	skril. melj.	73	3	/	/	60	83	7,6	0,95	1,11	1,00	1,00	88,33	83,91	93,24	1,247	20,38	21,45	19,31
V-9	2,3	13,25	GC	6	1	/	Zasičeni	60	46	3,6	0,75	1,37	1,00	1,00	7,26	5,45	7,46	0,353	/	/	/
V-9	2,3	2,3	prep. skril.	27	2	/	Zasičeni	60	65,5	5,55	0,85	1,13	1,00	1,00	29,04	24,68	27,89	0,682	/	/	/
V-9	2,3	4,25	skril. melj.	42	3	/	/	60	85,5	7,55	0,95	1,09	1,00	1,00	50,82	48,28	52,78	0,838	/	/	/

Nivo vode in vlažne cone

Voda se je v času vrtnanja (10.06. – 18.06. 2002) pojavila v vseh devetih vrtinah na naslednjih globinah:

- V – 1: gl.: -5 m; preperel in vlažen skrilav meljevec s prehodi v glinast skrilavec;
V – 2: gl.: -4,7 m; preperel skrilavec meljevec s prehodi v glinast skrilavec in peščenjak;
gl.: -7 m; vlažen skrilav meljevec s prehodi v glinast skrilavec in peščenjak;
V – 3: gl.: -6,4 m; preperel skrilav meljevec s prehodi v glinast skrilavec;
V – 4: gl.: -7,3 m; preperel glinast skrilavec s prehodi v skrilav meljevec;
V – 5: gl.: -3 m; zelo preperel in vlažen glinast skrilavec;
V – 6: gl.: -2,8 m; peščena glina z gruščem skrilavega meljevca;
V – 7: gl.: -2 m; zaglinjen peščen prod;
V – 8: gl.: -2 m; peščen melj do drobno zrnat pesek s posameznimi prodniki;
V – 9: gl.: -2,3 m; zaglinjen peščen prod.

Voda se je v času meritev inklinacij (26.06. – 27.06. 2002) pojavila v vseh vrtinah – inklinometrih na naslednjih globinah:

Preglednica 3: Meritve nivojev vode v inklinometrih.

Vrtina - inklinometer	Datum / globina od kote terena	Datum / globina od kote terena	Datum / globina od kote terena	Datum / globina od kote terena
V – 1	26.06. / -5,41 m	13.08. / -5,07 m	27.08. / -5,72 m	03.10. / -5,55 m
V – 2	26.06. / -6,69 m	13.08. / -5,29 m	27.08. / -6,59 m	03.10. / -6,64 m
V – 3	26.06. / -6,49 m	13.08. / -6,44 m	27.08. / -6,50 m	03.10. / -6,47 m
V – 4	26.06. / -6,57 m	13.08. / -6,49 m	27.08. / -6,74 m	03.10. / -6,57 m

Odvzem vzorcev zemljin in hribin

Za laboratorijske raziskave je bilo iz vrtin odvzetih skupaj štiriindvajset (24) vzorcev polhribin do zemljin. Petnajst (15) vzorcev je bilo intaktnih, odvzetih med vrtnanjem, devet (9) kosov polhribin do mehkih kamnin pa je bilo odvzetih ob popisu vrtin. Na brežini vkopa nad plazom smo na dveh lokacijah ob razpokah odvzeli osamnajst (18) kosov skrilavega meljevca

in oksidiranega peščenjaka za določitev trdnostnega indeksa kompaktne z vrtnjem neporušne hribine.

3.4 Laboratorijske raziskave³

Program je obsegal naslednje raziskave: naravna vlaga, konsistenčne meje, prostorninska teža, direktne strižne preiskave, rotacijske strižne preiskave, enoosna preiskava z žepnim penetrometrom, preiskava enoosne tlačne trdnosti in točkovni indeks trdnosti hribine.

Naravna vlaga w in konsistenčni meji w_L in w_p

Pri predvideni analizi ima voda pomemben vpliv, zato podajamo osnovne rezultate analiz vlažnosti in konsistence. Naravno vlago w so pri vzorcu izmerili s sušenjem do stalne mase pri temperaturi 105 °C. Konsistenčna meja w_L (meja židkosti) se določi po metodi s konusom in w_p (meja plastičnosti) s svaljki premera 3 mm. Na podlagi rezultatov naravne vlage in konsistenčnih mej je bil izračunan indeks plastičnosti I_p in indeks konsistence I_c :

$$I_p = w_L - w_p \quad (5)$$

$$I_c = (w - w_L)/I_p \quad (6)$$

zemljine smo klasificirali po AC klasifikaciji.

Rezultati so naslednji:

Vzorci zemljin do polhribin do globine 7,75 m so klasificirani kot skrilav glinovec z gruščem do glina (CL – CH) poltrdne do trdne in težko gnetne konsistence z rezultati v intervalu:

$$w = 6,9 - 27,3 \%$$

$$w_L = 20,2 - 53,6 \%$$

$$w_p = 11,8 - 28,0 \%$$

$$I_p = 7,5 - 25,6 \%$$

$$I_c = 0,888 - 1,514$$

³ Vse laboratorijske raziskave so potekale v laboratoriju za mehaniko tal Geoinženiringa d.o.o..

Naravna in suha prostorninska teža γ in γ_D

Naravna prostorninska teža γ je opredeljena kot teža zemljine W na prostornino V . Suha prostorninska teža γ_d je opredeljena kot teža zrn W_s na celotno prostornino V . V danem primeru sta dobljeni vrednosti v intervalu:

Preperel skrilav meljevec do skrilav glinovec:

$$\gamma = 17,8 - 23,8 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_d = 13,8 - 21,5 \text{ kN/m}^3$$

Direktna strižna trdnost τ_{dir}

Rezultata preiskave sta kohezija in strižni kot.

$$\tau_{dir} = c + \sigma \cdot \tan(\varphi) \quad (7)$$

Rezultati so naslednji:

Preperel skrilav meljevec do skrilav glinovec:

$$c = 0 - 21,2 \text{ kPa};$$

$$\varphi = 14,4^\circ \text{ do } 37,5^\circ$$

Rotacijska strižna trdnost τ_{rot}

V rotacijskem strižnem aparatu so bili pri različnih vertikalnih obremenitvah preiskani pregneteni preplavljeni in konsolidirani vzorci skrilavega meljevca s prehodi v skrilav glinovec. Dobljene vrednosti kohezije in strižnega kota so v intervalu:

$$c = 11,3 - 17,2 \text{ kPa}$$

$$\varphi = 24,5 - 25^\circ$$

Enoosna tlačna trdnost q_u

Enoosno tlačno trdnost smo določili v enoosnem aparatu iz oslabiljenega preperelega glinastega skrilavca z drobcu gruščja peščenjaka iz vrtin V - 4 na globini 5,2 - 5,4 m.

$$q_u = 315,9 \text{ kPa}$$

Preiskave stisljivosti in vodoprepustnosti (edometske preiskave)

Z edometrsko preiskavo stisljivosti so bili preiskani delno porušeni vzorci odvzeti med vrtanjem. Vzorci so bili preplavljeni in prvič obremenjeni pri 25 kPa. Postopno so jih obremenjevali s sedmimi bremenskimi stopnjami do napetosti

$$\sigma = 1.200 \text{ kPa.}$$

Moduli stisljivosti za maksimalno bremensko stopnjo so naslednji:

$$\text{pri } \sigma = 1.200 \text{ kPa} \quad \text{je} \quad M_s = 17351,4 - 26.358,9 \text{ kPa}$$

Koeficient vodoprepustnosti je bil merjen pri dveh obremenilnih stopnjah:

$$\text{pri } \sigma (1) = 50 - 100 \text{ kPa} \quad \text{je} \quad k_{10}(1) = 2,54 - 7,69 \cdot 10^{-9} \text{ cm/s}$$

$$\text{pri } \sigma (2) = 100 - 200 \text{ kPa} \quad \text{je} \quad k_{10} (2) = 1,00 - 5,02 \cdot 10^{-9} \text{ cm/s}$$

Točkovni trdnostni indeks

Povprečna enoosna tlačna trdnost skrilavega meljevca ob upoštevanju redukcijskega faktorja anizotropije (med preiskanimi vzorci prečno in pravokotno na smer skrilavosti):

$$\sigma = 10,75 \text{ MPa}$$

Enoosna tlačna trdnost oksidiranege peščenjaka znaša:

$$\sigma = 179,74 \text{ MPa}$$

3.5 Inženirsko geološke razmere

Litološki in stratigrafski pregled geoloških enot

Obravnava področje grade štirje karakteristični litološki členi: umetni nasip, deluvijalna preperina, aluvijalni nanos in permo karbonska podlaga mehkih kamnin.

Trasa ceste poteka po umetnem nasipu (N), ki ga sestavlja zemljen do zaglinjen grušč skrilavega meljevca in peščenjaka do slabo zaobljen prod v srednje gostem stanju. Zemljina je

rjavo sive barve in vsebuje tudi vložke glin v težkognetnem do poltrdem kosistenčnem stanju.

Deluvijalno preperino (de^{GC}) sestavlja pusta do peščena glina v srednje gnetnem kosistenčnem stanju z gruščem do zaglinjen grušč skrilavega meljevca in peščenjaka temno sive barve, z vezivom v težkognetnem do poltrdem kosistenčnem stanju.

Aluvijalni nanos (al) sestavlja zaglinjen peščen prod v srednje gostem stanju, ki ga prekriva peščena glina do peščen melj v srednjem gnetnem kosistenčnem stanju do drobno zrnat pesek rjavo sive do rdečkasto rjave barve.

Hribinska podlaga grade permokarbonske plasti (C, P), v katerih se menjajo trije tipi mehkih do trdih kamnin: siv drobno plastovit skrilav meljevec s prehodi v temnosiv do modrikastosiv glinast skrilavec s tankimi vložki kremenovega peščenjaka sive barve. Na površini je hribina rjavo preperela, peščenjak pa oksidiran in razpokan. Plasti so deloma nagubane in vpadajo 45° proti severozahodu do severovzhodu v pobočje.

3.6 Določitev materialnih karakteristik

Hoekov & Brownov porušitveni kriterij

Porušitveni kriterij smo uporabili za določitev strižnih karakteristik preperelega in kompaktnega skrilavega meljevca. Za vhodne parametre smo uporabili enosno tlačno trdnost, sestavo, strukturo (velikost blokov) in stopnjo preperelosti ter največjo glavno napetost pri porušitvi. Vhodni parametri so povzeti v preglednici 4.

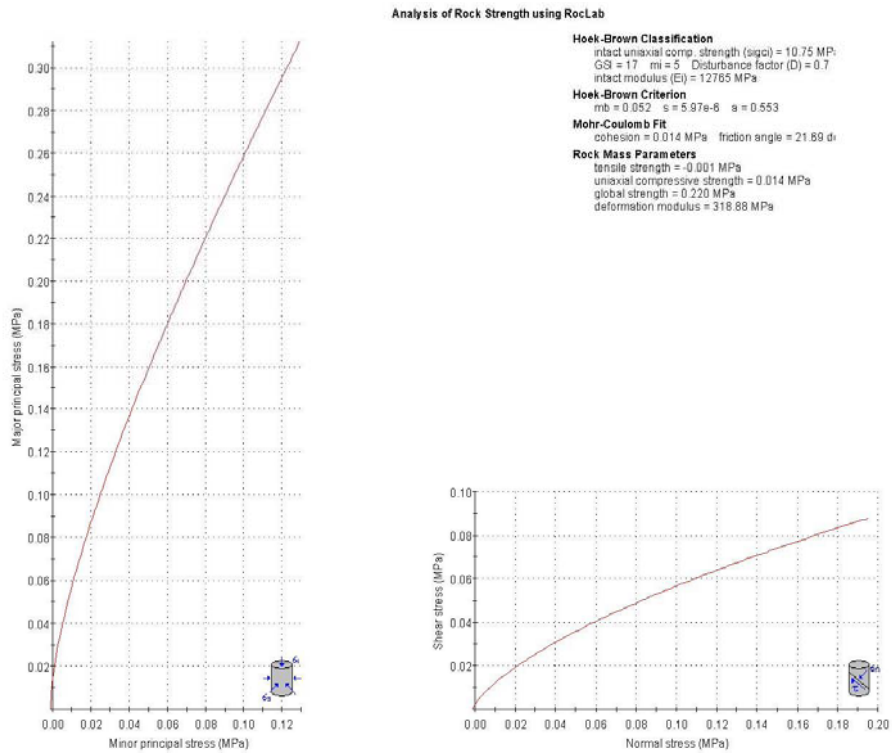
Preglednica 4: Vhodni parametri, ki smo jih vnesli v RocLab.

Parameter	Preperel skrilav meljevec	Kompakten skrilav meljevec
σ_{ci} (MPa)	10,75	10,7
GSI	17	23
mi	5	5
D	0,7	0,7
γ (kN/m ³)	22	22
Višina brežine (m)	8	8

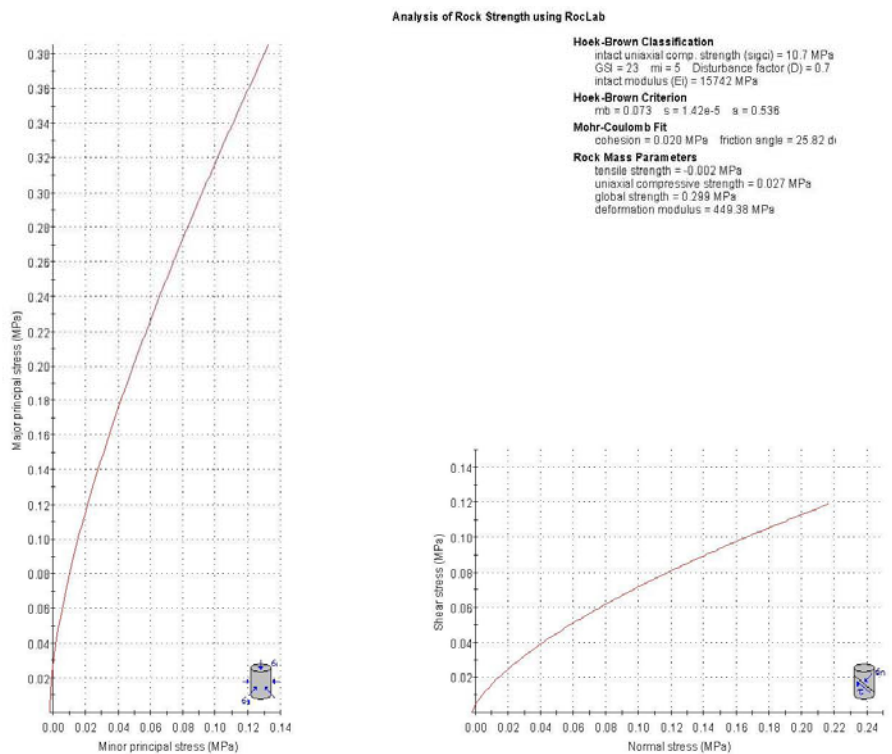
Trdnostno deformacijske karakteristike smo določili s programom RocLab, povzete so v preglednici 5.

Preglednica 5: Rezultati dobljeni s programom RocLab.

Trdnostno deformacijske karakteristike	Preperel skrilav meljevec	Kompakten skrilav meljevec
c (kPa)	14	20
ϕ (°)	21,7	25,8
E (MPa)	319	450



Slika 23: Dobljeni rezultati za preperel skrilav meljevec.



Slika 24: Dobljeni rezultati za kompakten skrilav meljevec.

Strižne karakteristike zemljin

Končne karakteristike zemljin smo ocenili s povratnimi analizami.

- **cestni nasip:**
 - $\gamma = 21,0 \text{ kN/m}^3$
 - $\varphi = 34^\circ$
 - $c = 0,1 \text{ kPa}$
- **deluvij:**
 - $\gamma = 21,5 \text{ kN/m}^3$
 - $\varphi = 28^\circ$
 - $c = 9,5 \text{ kPa}$
- **preperel skrilav meljevec:**
 - $\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$
 - $\varphi = 25^\circ$
 - $c = 12 \text{ kPa}$
- **kompakten skrilav meljevec:**
 - $\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$
 - $\varphi = 30^\circ$
 - $c = 16 \text{ kPa}$
- **nasip za sanacijo (vgrajen, uvaljan):**
 - $\gamma = 21,0 \text{ kN/m}^3$
 - $\varphi = 34^\circ$
 - $c = 0,1 \text{ kPa}$
- **rolirana brežina:**
 - $\gamma = 21,0 \text{ kN/m}^3$
 - $\varphi = 45^\circ$
 - $c = 30 \text{ kPa}$
- **zložba:**
 - $\gamma = 24,0 \text{ kN/m}^3$
 - $\varphi = 45^\circ$
 - $c = 30 \text{ kPa}$

4 VARIANTE SANACIJ ZA USAD v km 7,7+98.00 do km 7,8+61.00

4.1 *Obstoječe stanje USADA v km 7,8+06.00 do km 7,8+70.00*



Cesta je poškodovana v dolžini 80 m.

Asfaltna plast je razpokana, cestišče je posedeno.

Zgornji odlomni rob se nahaja na robu asfalta, brežina je posedena, deloma že tudi v celoti odnešena, tako da je potrebna delna zapora prometa.

Slika 25: Fotografija USADA z odlomnim robom asfalta.

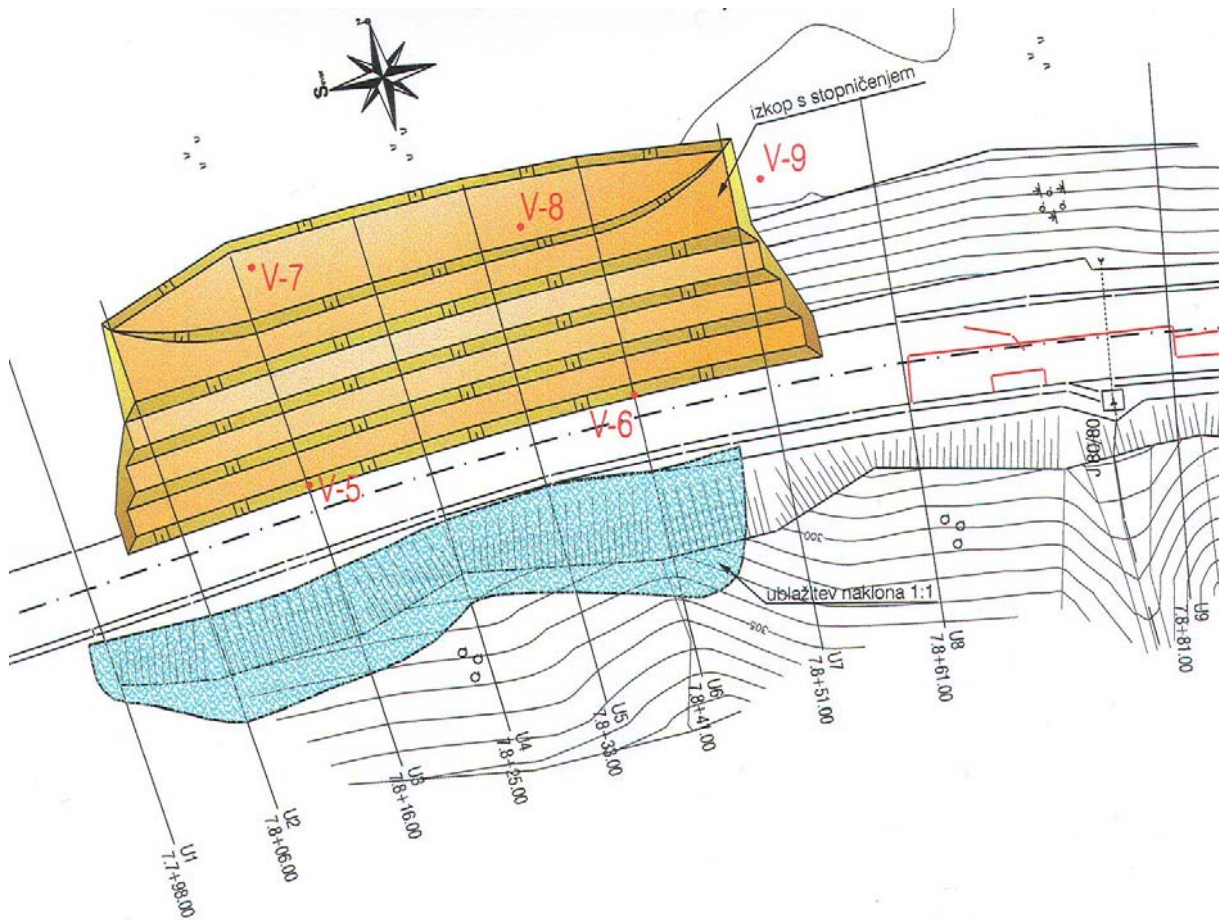
Na desni strani je potrebno predvideti ublažitev vkopne brežine do naklona 1:1 z zaokrožitvijo pri vrhu brežine ter predvideti ustrezno proti erozijsko zaščito brežine.

Obravnavano področje grade štirje karakteristični litološki členi: umetni nasip, deluvijalna preperina, aluvijalni nanos in permo karbonska podlaga mehkih kamnin.

Izvedeno je pet (5) sondažnih vrtin V - 5 do V - 9, ki so prikazane na sliki 20.

Sanacijo usada prikažemo z dvema variantama, ki ju medseboj primerjamo, tako metode rešitve, kot tudi finančnih prednosti oz. pomakljivosti posamezne metode.

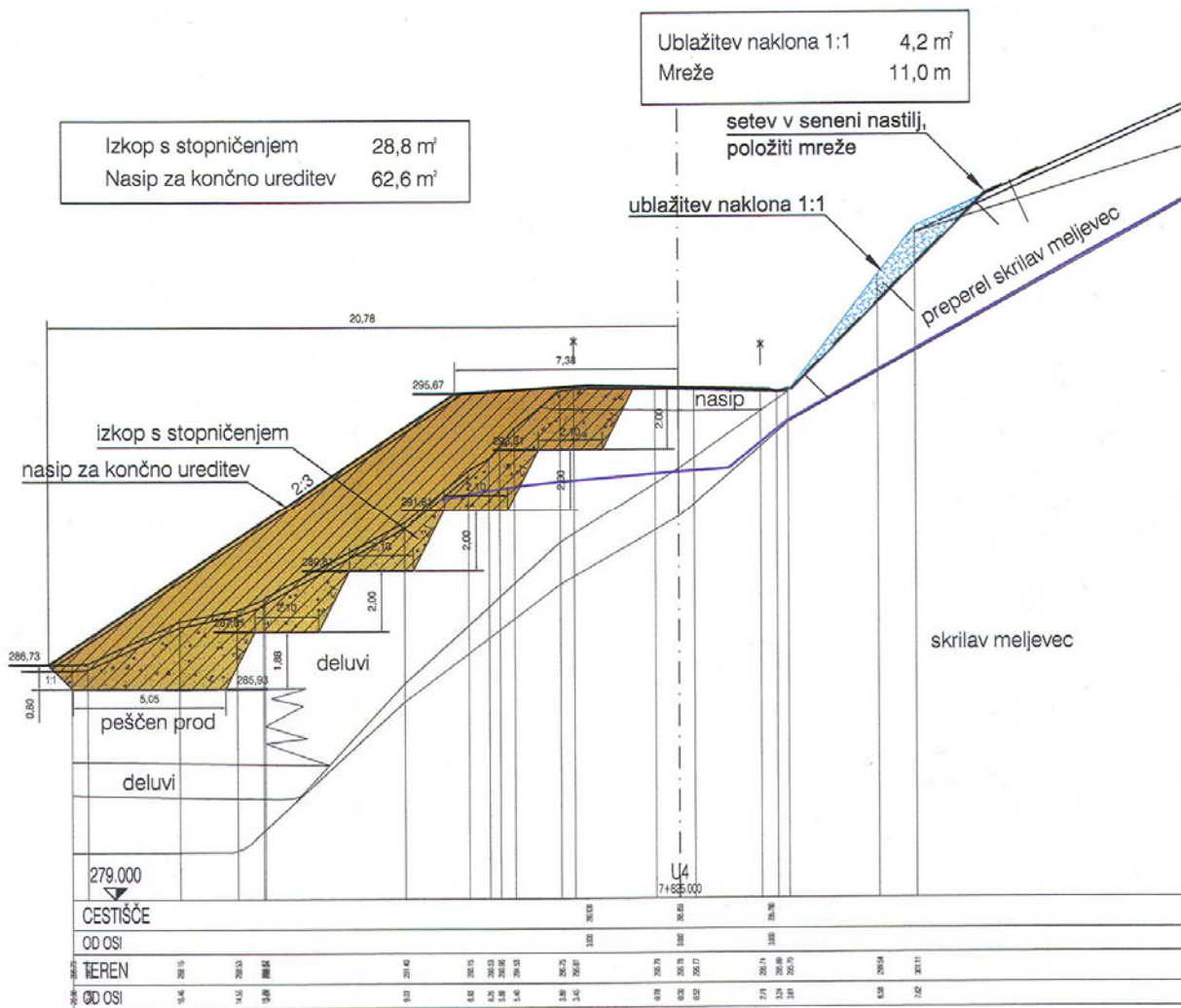
4.2 Varianta sanacije USADA z nasipom v km 7,7+98.00 do km 7,8+61.00

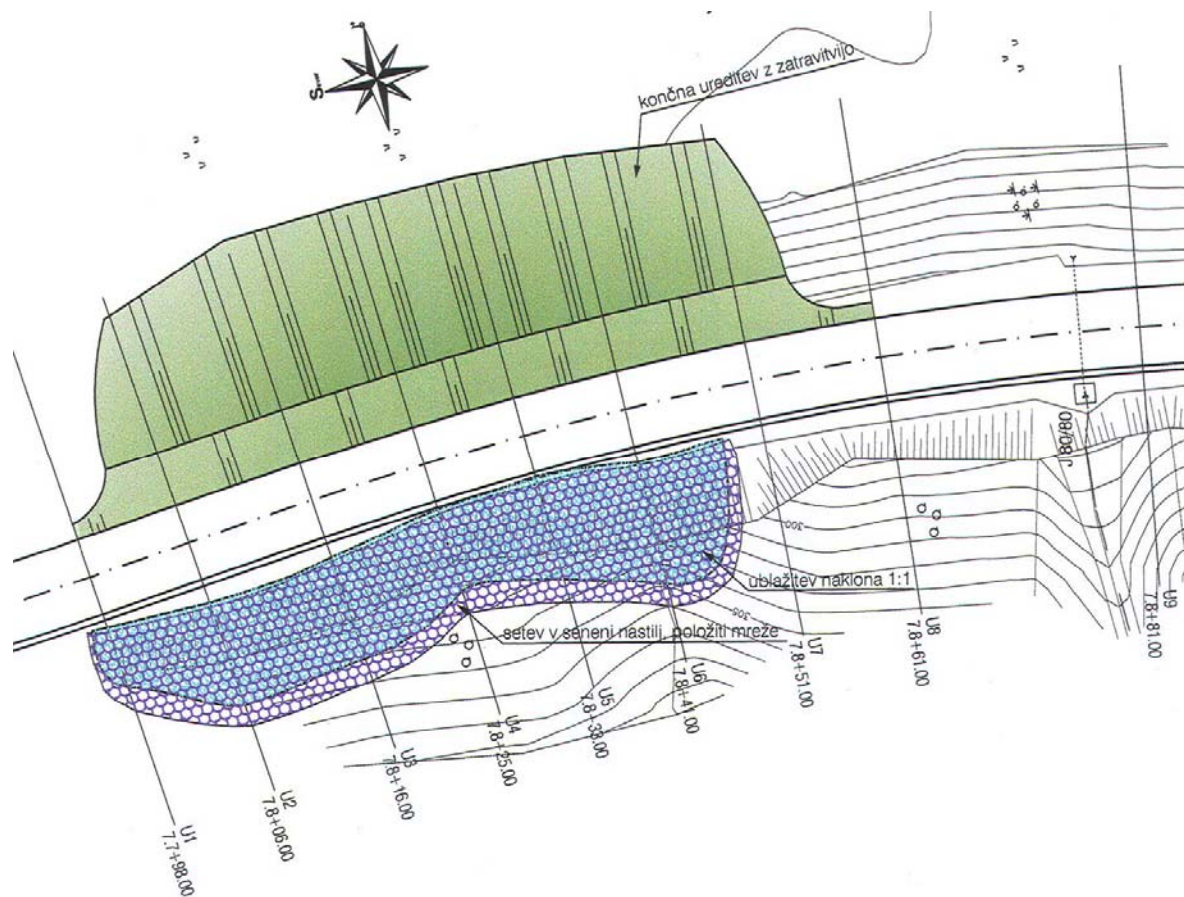


Slika 26: Tlorisna situacija sanacije z nasipom (IRGO, Ljubljana, 2003).

Prvi možen način sanacije usada v km 7,800 je nasip s stopničenjem. Izkop poteka z odstranitvijo krovnega materiala, sledi strojni izkop s stopničenjem v etapah. Po izkopu se izvede izgradnja nasipa v horizontalnih plasteh. Sanacija se konča s humusiranjem brežin in sejanjem travnega semena.

Na desni strani ceste se izvede ublažitev naklona brežin na 1:1. Brežine so ščitene z mrežami in zatravljene.





Slika 28: Tlorisna situacija končne ureditve z nasipom (IRGO, Ljubljana, 2003).

4.2.1 Stabilnostna analiza za nasip⁴

V izračunih smo za posamezne tipične plasti uporabili parametre, ki so v preglednici 6.

Preglednica 8: Vhodni parametri za statični izračun nasipa.

Karakteristike zemljin	γ (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)
nasip za sanacijo (vgrajen, uvaljan)	21,0	34	0,1
deluvij	21,0	28	9,5
preperel skrilav meljevec	23	25	12
kompakten skrilav meljevec	23	30	16

⁴ Stabilnostno analizo nasipa smo naredili ob upoštevanju geotehničnih parametrov nastopajočih zemljin in hribin, ki so podani v geološko geotehničnem elaboratu, ki ga je izdelal Geoinženiring, d.o.o.

4.2.2 Analiza za nasip

Stabilnostno analizo smo izvedli v profilu U2, U4, U7 in jo sestavlja 16 faz, ki jih lahko združimo v 3 sklope:

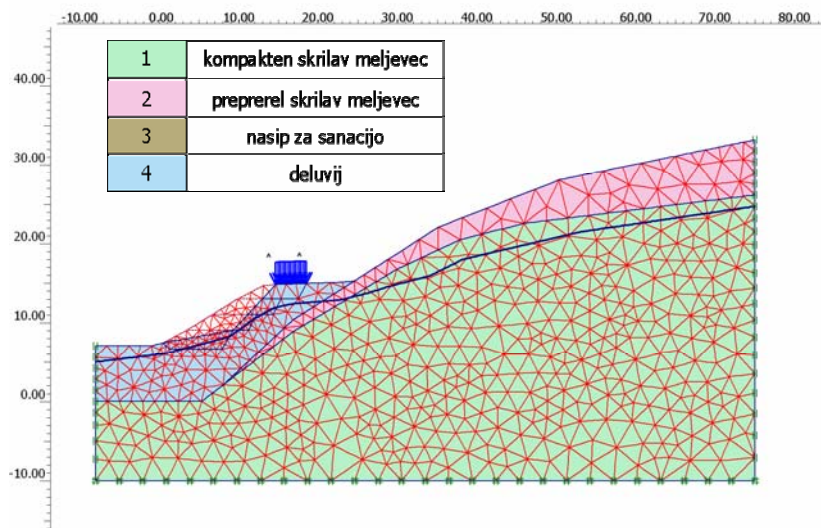
- v prvem sklopu smo določili začetne napetosti v zemljini, dodali vodo in prometno obtežbo, ter izračunali začetni faktor varnosti
- v drugem sklopu smo modelirali izgradnjo nasipa. Najprej smo modelirali izkop krovnega materiala in ureditev berm. Izkop je potekal v štirih etapah, v vsaki etapi smo izkopali približno 2 m materiala. Po končanem izkopu smo ravno tako v štirih etapah izvedli izgradnjo nasipa ter končno ureditev brežine.
- v tretjem sklopu pa smo preverili še končno varnost pri različnih situacijah. Najprej smo določili varnost takoj po izgradnji nasipa, nato varnost z aktiviranim prometom, na koncu pa smo določili še varnost pri najbolj neugodnem primeru – kombinaciji vode in prometa.

Kratek opis posameznih faz:

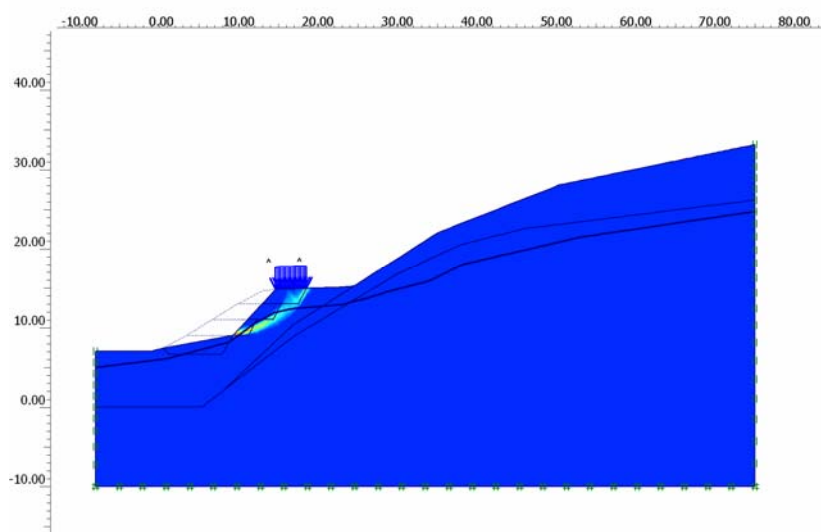
- začetno stanje: določitev začetnih napetosti v zemljini
- začetno stanje + promet + voda: aktiviranje prometne obtežbe ter dvig talne vode
- začetna varnost + promet + voda $F_s=1,00$: določitev začetnega faktorja varnosti
- izkop 1: izkop krovnega materiala in ureditev 1. berme
- izkop 2: izkop krovnega materiala in ureditev 2. berme
- izkop 3: izkop krovnega materiala in ureditev 3. berme
- izkop 4: izkop krovnega materiala in ureditev 4. berme
- vmesna varnost $F_s=1,24$: določitev faktorja varnosti med potekom sanacije
- nasip 1: izgradnja nasipa – 1. etapa
- nasip 2: izgradnja nasipa – 2. etapa
- nasip 3: izgradnja nasipa – 3. etapa
- nasip 4: izgradnja nasipa – 4. etapa, končna ureditev brežine
- končna varnost $F_s=1,27$: določitev končnega faktorja varnosti
- promet: aktiviranje prometne obtežbe

- končna varnost + promet $F_s=1,25$: določitev končnega faktorja varnosti pri aktivirani prometni obtežbi
- promet + voda: aktiviranje prometne obtežbe ter dvig talne vode
- končna varnost + promet + voda $F_s=1,25$: določitev končnega faktorja varnosti pri aktivirani prometni obtežbi ter povišani gladini talne vode

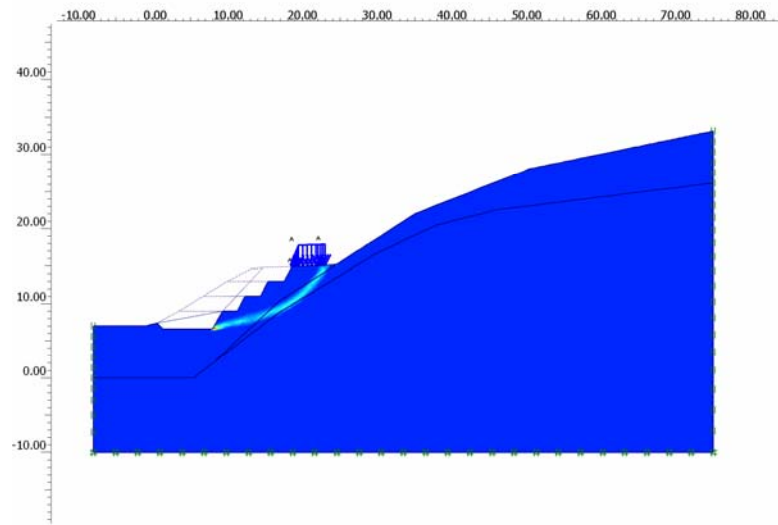
Spodnji del predstavlja sedem slik, kjer so prikazani: geometrija z mrežo končnih elementov, začetna varnost, varnostni količnik med potekom sanacije, diagram varnostnega količnika med potekom sanacije, pomiki, končna varnost in diagram varnosti.



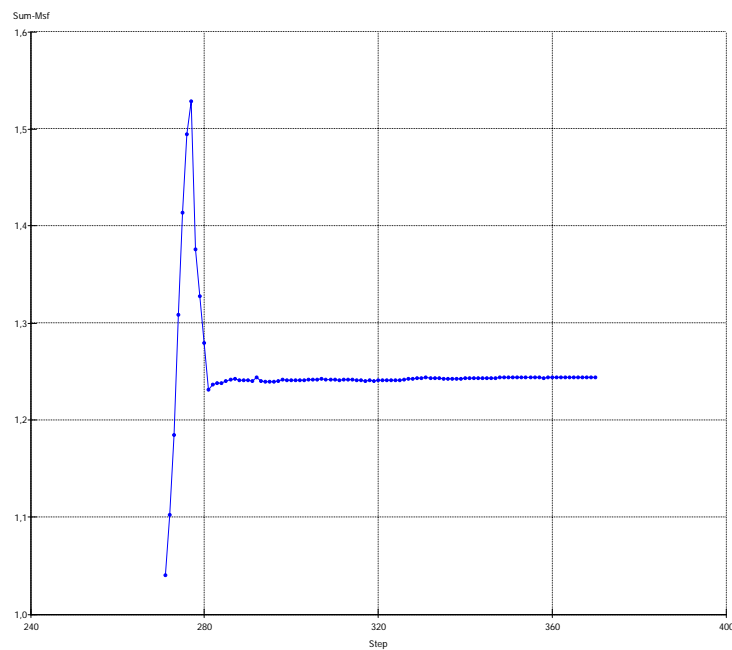
Slika 29: Geometrija z mrežo končnih elementov v profilu U2, varianta z nasipom.



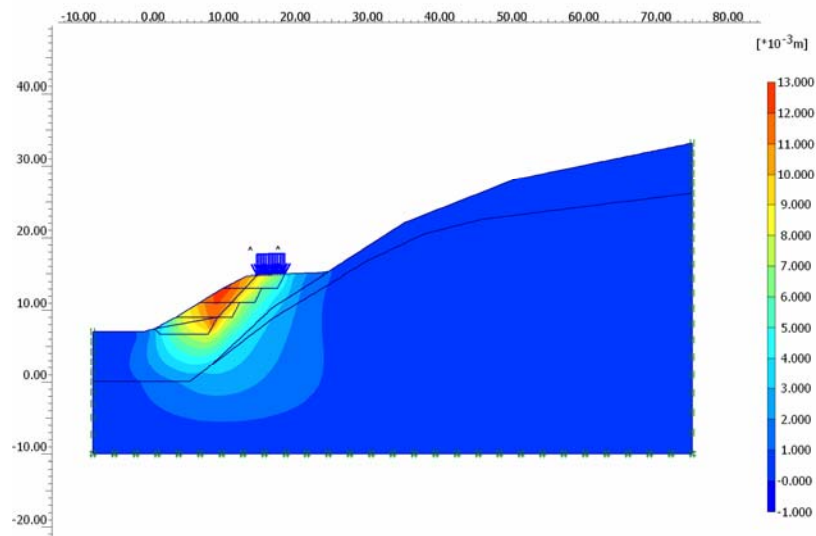
Slika 30: Začetna varnost brez nasipa, $F_s=1.00$ v profilu U2.



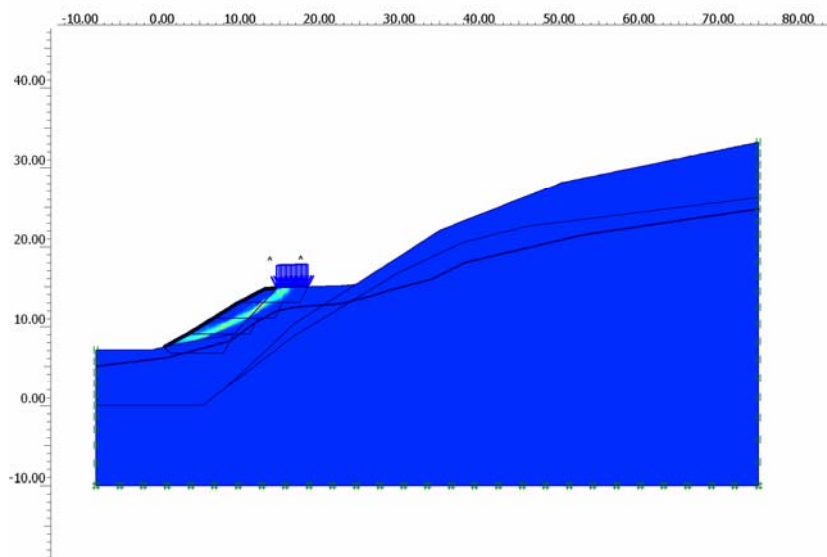
Slika 31: Varnostni količnik med potekom sanacije, $F_s=1.24$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa.



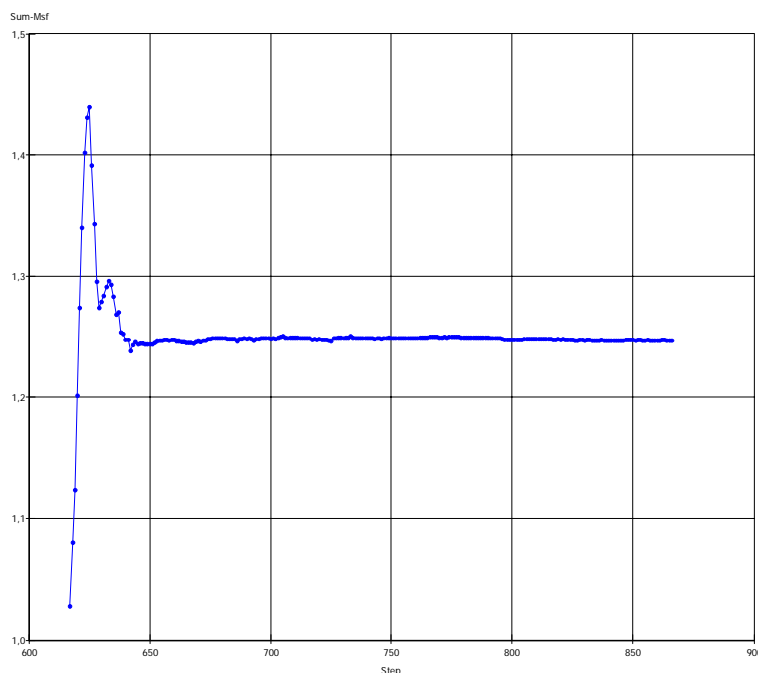
Slika 32: Diagram varnostnega količnika med potekom sanacije, $F_s=1.24$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa.



Slika 33: Pomiki nasipa v profilu U2 ob upoštevanju prometa.



Slika 34: Končna varnost nasipa, $F_s=1.25$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa in vode.



Slika 35: Diagram končne varnosti, $F_s=1.25$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa in vode.

4.2.3 Izvedba sanacije

Vsa zemeljska dela so izvedena s pomočjo mehanizacije pri pogojih, ki veljajo za III. kategorijo zemljine. Na mestu izkopa se najprej odstrani vegetacijo. Začnemo s strojnim izkopom s stopničenjem v višini petih etaž. Sledi zapolnitev zasipa s kvalitetnim gruščem ali tolčencem od spodaj navzgor. Material je vgrajen v horizontalnih plasteh debeline do 50 cm. Zbitost vgrajenega materiala naj bi bila večja od 95 % po Proctorju.

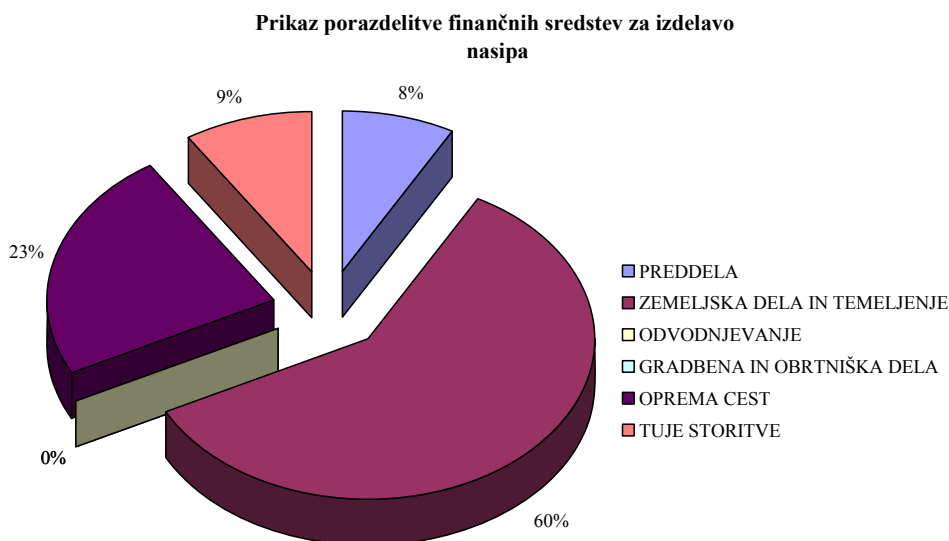
Po vgradnji zasipa v nagibu 2:3 do roba cestišča se izvede humusiranje in zatravitev. Na desni strani ceste se izvede poseg ublažitve naklonov brežin na 1:1. Dostop z gradbeno mehanizacijo do brežin je enostaven, tako da se lahko s ceste dosežejo vsi deli brežine. Strojna izvedba je možna do višine 6 m, z izdelavo nasipa pa je možno to višino tudi povečati. Pri izkopu in odvozu materiala bo obvezna polovična zapora ceste, saj bo mehanizacija na voznom pasu ob brežini.

Po ublažitvi naklona se brežine tudi zaščitijo s polaganjem žične mreže. Zgornji rob mreže se pritrdi v raščeni teren vsaj 1,5 m nad zgornjim robom in se pritrdi s sidri iz rebraste armature ϕ 12 mm dolžine 1 do 1,5 m, po brežini pa po potrebi s sidri dolžine 70 cm. Razdalja med

sidri je 2 do 3 m, posamezne mreže pa je potrebno združiti z jekleno pletenico in na dnu obtežiti z betonskimi oblikovanci zaradi čiščenja izpadlega materiala. Izvede se tudi setev v seneni nastilj. Odvečni material, ki nastane pri ublažitvi naklonov brežin, je potrebno ustrezno odložiti na za to primerno deponijo.

4.2.4 Predračun in rekapitulacija investicijskih stroškov za nasip

Iz samega prikaza spodnjega grafikona je razvidno, da največji del stroškov izdelave nasipa pade na sama zemeljska dela, kar v našem primeru pomeni, da bi v tem segmentu morali iskati optimizacije za ugodnejšo finančno rešitev, saj je v preostalih delih znatno manjši finančni delež. Optimizacija je možna z ugodno masno bilanco, kar bi bilo možno z nasipanjem nekega izkopanega materiala v bližini, saj v primeru nasipanja načrtno pridobljenega materiala stroški znatno narastejo.

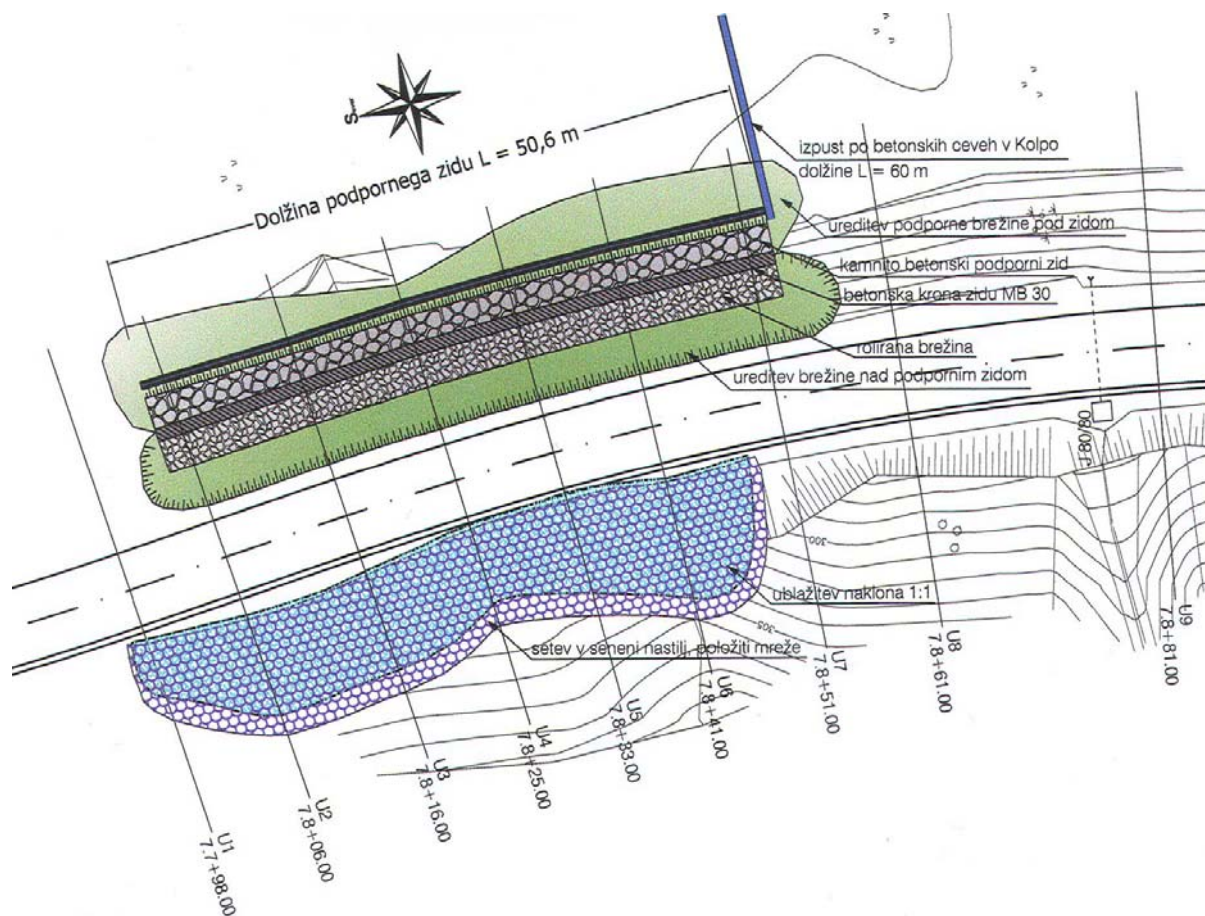


Grafikon 1: Prikaz porazdelitve finančnih sredstev za izdelavo nasipa.

Preglednica 9: Rekapitulacija investicijskih stroškov za nasip (v EUR).

VRSTA DEL	VREDNOST
PREDDELA	2.492,28
ZEMELJSKA DELA IN TEMELJENJE	158.573,28
ODVODNJEVANJE	
GRADBENA IN OBRTNIŠKA DELA	
OPREMA CESTE	7.302,62
TUJE STORITVE	2.921,05
SKUPAJ ZA PREDRAČUN	171.318,44
+20% DDV	34.263,69
SKUPAJ ZA PREDRAČUN Z DDV	205.582,12

4.3 Varianta sanacije s podpornim zidom v km 7,7+98.00 do km 7,8+61.00



Slika 36: Tlorisna situacija sanacije s podpornim zidom (IRGO, Ljubljana, 2003).

Kot drugi možen način sanacije usada v km 7,800 je izvedba podpornega zidu pod cesto. Najprej se izvede delovni plato, ki mu sledi izkop s stopničenjem v dveh do treh kampadah ter nasutje in utrditev novega materiala. Temelj podpornega zidu je najmanj 1 m pod nivojem delovnega platoja, kjer se položi podložni beton. Oporni zid bo izveden s postavitvijo mrež na zaledni strani, nato pa z vgraditvijo betona ter skal s sprotnim zidanjem in fugiranjem. V zid se vgradi prečne cevi za odvajanje zaledne vode.

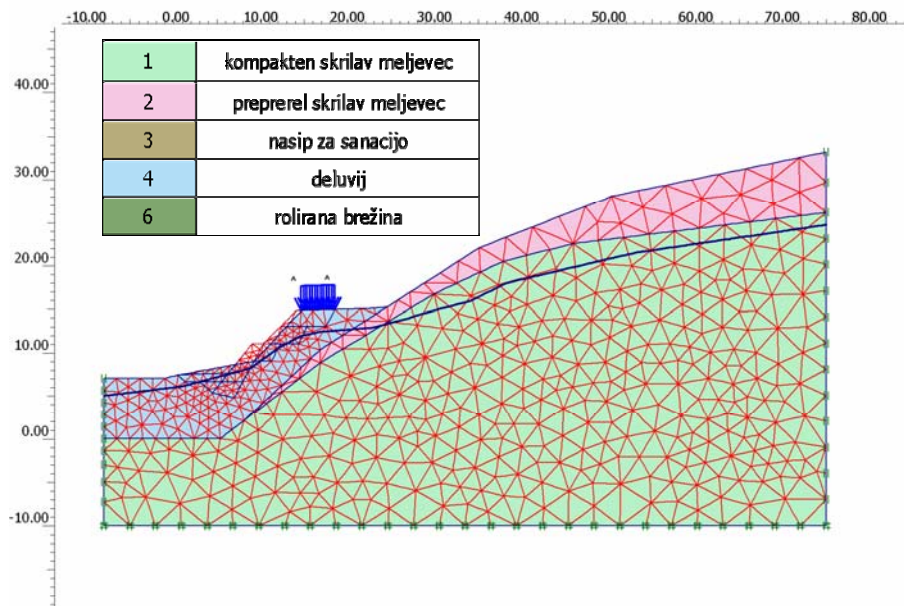
Na desni strani ceste pa bo potrebna ublažitev naklona brežin na 1:1, kot je opisano v prvi izvedbi.

- v drugem sklopu smo modelirali izgradnjo podpornega zidu z nasipom. Najprej smo modelirali izkop krovnega materiala in ureditev berm. Izkop je potekal v petih etapah, v vsaki etapi smo izkopali približno 2 m materiala. Po končanem izkopu smo v petih etapah simulirali izgradnjo podpornega zidu in končno ureditve brežine.
- v tretjem sklopu pa smo preverili še končno varnost pri različnih situacijah. Najprej smo določili varnost takoj po izgradnji podpornega zidu in nasipa, nato varnost z aktiviranim prometom, na koncu pa smo določili še varnost pri najbolj neugodnem primeru – kombinaciji vode in prometa.

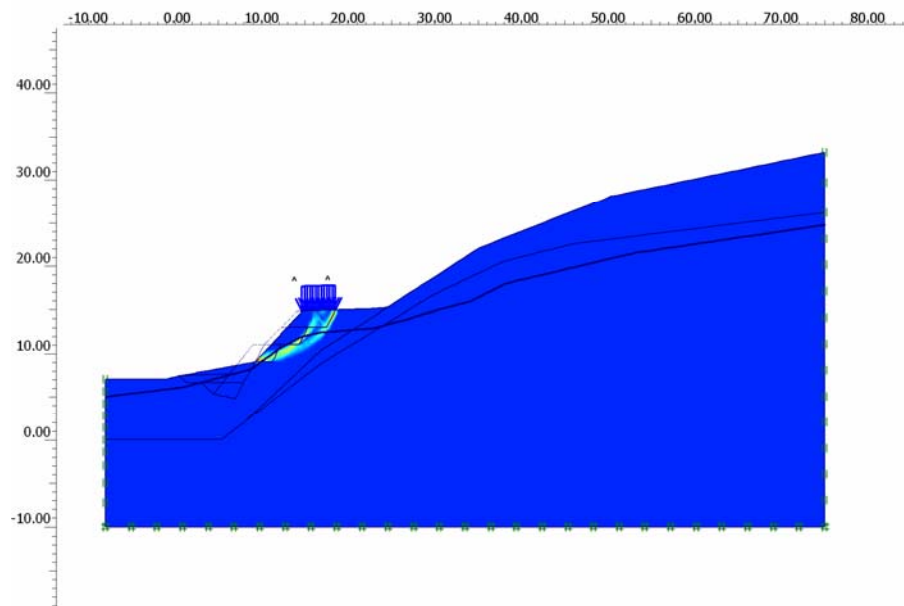
Kratek opis posameznih faz:

- začetno stanje: določitev začetnih napetosti v zamljini
- začetno stanje + promet + voda: aktiviranje prometne obtežbe ter dvig talne vode
- začetna varnost + promet + voda $F_s=1,00$: določitev začetnega faktorja varnosti
- izkop 1: izkop krovnega materiala in ureditev 1. berme
- izkop 2: izkop krovnega materiala in ureditev 2. berme
- izkop 3: izkop krovnega materiala in ureditev 3. berme
- izkop 4: izkop krovnega materiala in ureditev 4. berme
- izkop 5: izkop krovnega materiala in ureditev 5. berme
- vmesna varnost $F_s=1,25$: določitev faktorja varnosti med potekom sanacije
- zid 1: izgradnja podpornega zidu – 1. etapa
- zid 2: izgradnja podpornega zidu – 2. etapa
- zid 3: izgradnja podpornega zidu – 3. etapa
- zid 4: ureditev brežine nad podpornim zidom – 4. etapa
- zid 4: končna ureditev brežine – 5. etapa
- končna varnost $F_s=1,61$: določitev končnega faktorja varnosti
- promet: aktiviranje prometne obtežbe
- končna varnost + promet $F_s=1,35$: določitev končnega faktorja varnosti pri aktivirani prometni obtežbi
- promet + voda: aktiviranje prometne obtežbe ter dvig talne vode
- končna varnost + promet + voda $F_s=1,33$: določitev končnega faktorja varnosti pri aktivirani prometni obtežbi ter povišani gladini talne vode

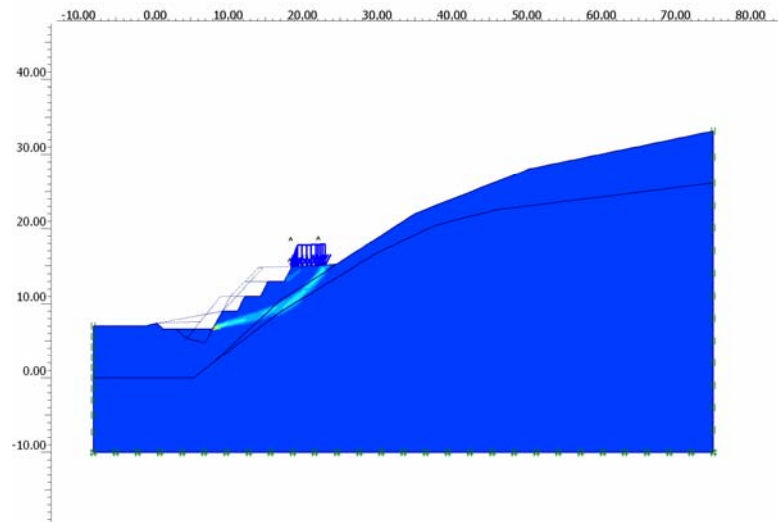
Spodnji del predstavlja sedem slik, kjer so prikazane geometrija z mrežo končnih elementov, začetna varnost, varnostni količnik med potekom sanacije, diagram varnostnega količnika med potekom sanacije, pomiki, končna varnost in diagram koeficienta varnosti.



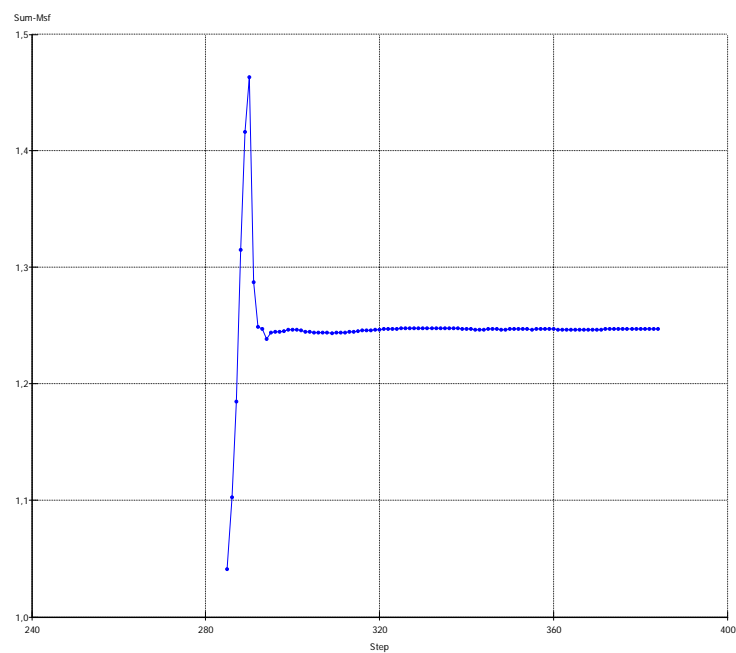
Slika 38: Geometrija z mrežo končnih elementov v profilu U2, varianta z podpornim zidom.



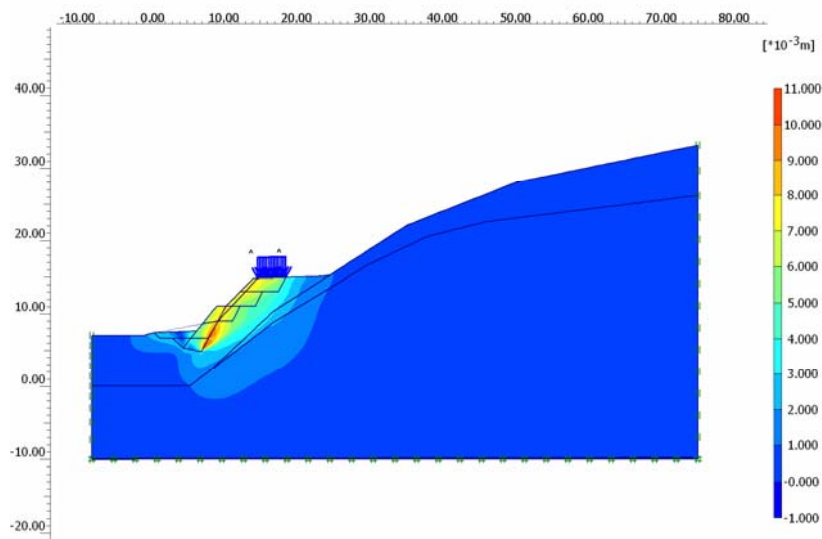
Slika 39: Začetna varnost brez podpornega zidu, $F_s=1.00$ v profilu U2.



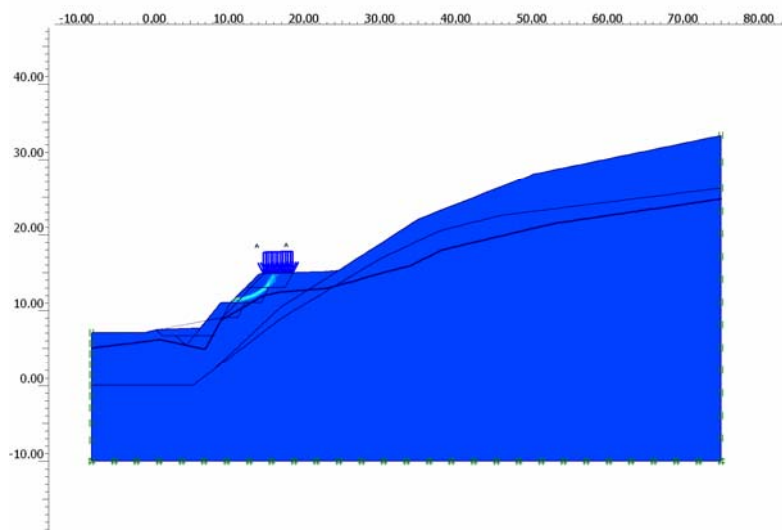
Slika 40: Varnostni količnik med potekom sanacije, $F_s=1.25$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa.



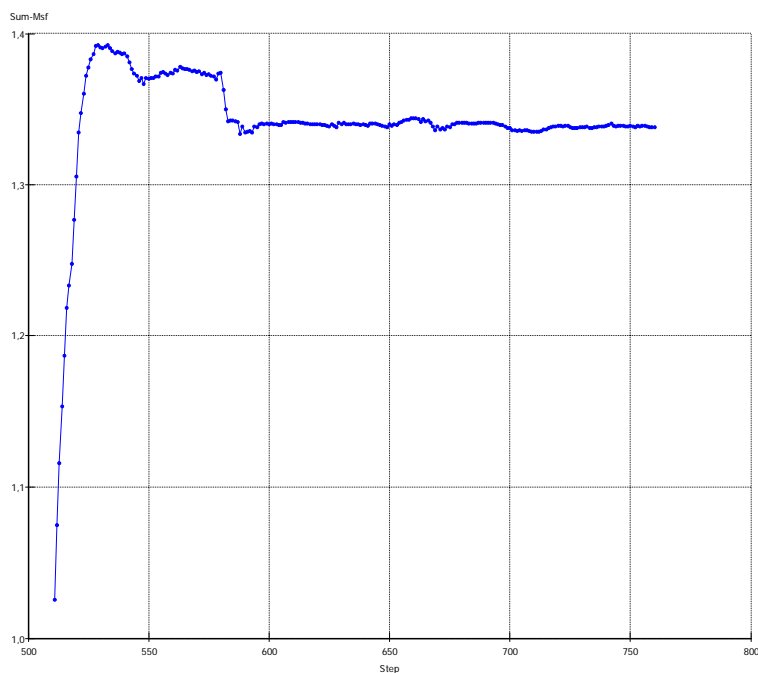
Slika 41: Diagram varnostnega količnika med potekom sanacije, $F_s=1.25$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa.



Slika 42: Pomiki podpornega zidu v profilu U2 ob upoštevanju prometa.



Slika 43: Varnostni količnik nasipa nad podpornim zidom, $F_s=1.33$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa in vode.



Slika 44: Diagram varnostnega količnika nasipa nad podpornim zidom, $F_s=1.33$ v profilu U2 ob upoštevanju prometa in vode.

4.3.3 Izvedba sanacije s podpornim zidom

Najprej je izveden delovni plato širine 6 m, dostopen iz spodnje dostopne ceste. Zaradi lažje povoznosti se izdelata gramozni delovni plato v debelini 20 cm. Sledi izkop do ceste v treh stopnicah. Ves izkop je izveden strojno, izkopani material se ustrezno deponira.

Izkopu s stopničenjem sledi izkop za temelj zidu, ki je širok 2,5 m pri dnu in globok 1 m. V temelj zidu se položi podložni beton C 8/10 debeline 10 cm. Na podložnem betonu se izvede betonski temelj zidu v debelini 50 cm. Zid se zida kontaktno v kamenju in betonu. Na notranjo stran se položi mrežo Q 283 z distančniki tako, da je 8 do 10 cm oddaljena od izkopa. Uporabljeno je kamenje premera 20 do 50 cm in beton C 25/30, kjer je razmerje kamen/beton 80/20. Zgornji del zidu, ki je za 1 do 2 m višji od izkopa, pa je potrebno opaziti. Po izdelavi zidu se fuge izdelata v cementni malti.

Med gradnjo zidu se vgrajuje prečne drenaže (barbakane) premera 100 mm. Pod steno zidu se v sklopu končne ureditve izdelajo jarek s kanaletami. Vodo iz kanalet se ob koncu zidu spelje v kanaletah v strugo reke Kolpe.

Krona zidu je zaključena s 15 cm debelim betonom C 25/30.

Vmesni prostor, ki je bil izdelan z izkopom s stopničenjem se zapolni s kvalitetnim gruščem ali tolčencem. Material se vgrajuje v horizontalnih plasteh debeline največ do 50 cm. Zbitost vgrajenega materiala mora biti večja od 95 % po Proctorju.

Po vgradnji zasipa v nagibu 2:3 med krono zidu in robom cestišča se brežine zahumusira in zatravi.

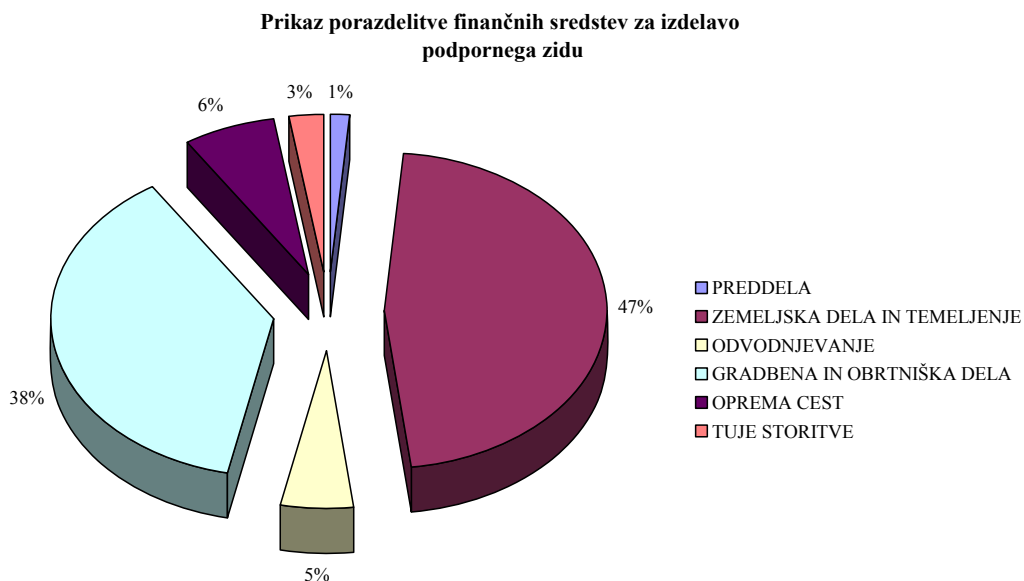
Desna stran cestišča se izvede kot je opisano v prvi varianti z nasipom.



Slika 45: Prikaz saniranega stanja USADA s podpornim zidom.

4.3.4 Predračun in rekapitulacija investicijskih stroškov za podporni zid

Podobno kot pri nasipu tudi tu pade največji delež na zemeljska dela, ki pa je vseeno manjši kot v prvi varianti. V sklopu sanacije je potrebno urediti tudi odvodnjevanje površinskih in podzemnih vod s področja pazu. Večje finančne optimizacije tu niso možne.



Grafikon 2: Prikaz porazdelitve finančnih sredstev za izdelavo podpornega zidu.

Preglednica 10: Rekapitulacija investicijskih stroškov za podporni zid (v EUR).

VRSTA DEL	VREDNOST
PREDDELA	1.642,05
ZEMELJSKA DELA IN TEMELJENJE	52.744,38
ODVODNJEVANJE	5.998,58
GRADBENA IN OBRTNIŠKA DELA	42.610,75
OPREMA CESTE	7.302,62
TUJE STORITVE	2.921,05
SKUPAJ ZA PREDRAČUN	113.230,68
+20% DDV	22.646,14
SKUPAJ ZA PREDRAČUN Z DDV	135.876,82

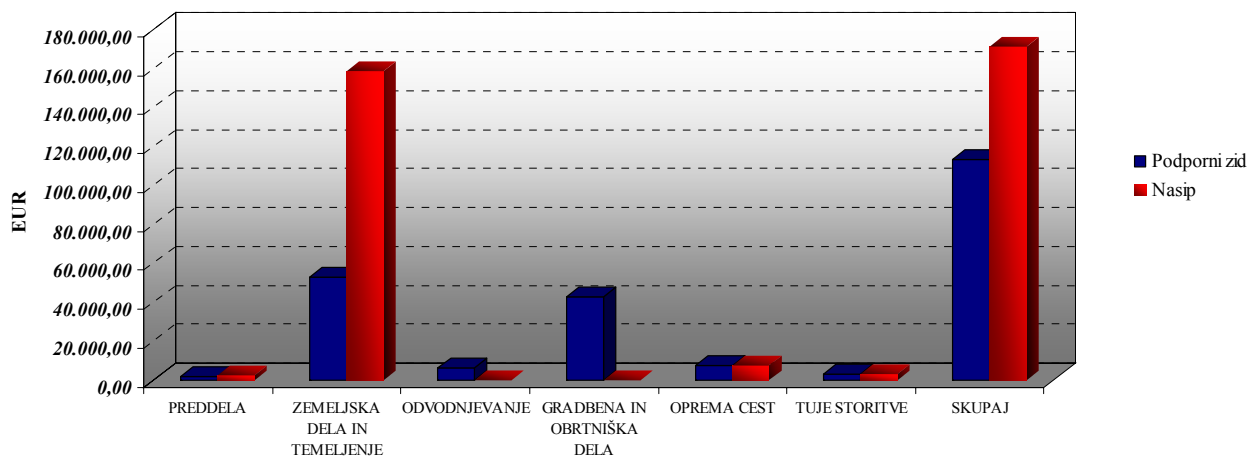
4.4 Primerjava rešitev z nasipom in kamnito zložbo pri sanaciji usada v km 7,7+98.00 do km 7,8+61.00

V sami primerjavi je nasip zelo elegantna in enostavna rešitev, če nam dopušča izvedbeni prostor, saj je sam nasip prostorsko zahteven. Če materiala ni blizu in je namensko pridobivan izkjučno za potrebe nasipa, se izkaže kot finančno neugodna varianta.

Podporni zid je nasprotno manj prostorsko potraten vendar pa je tehnično bolj zahteven. Sama stabilnost je tudi prej zagotovljena s podpornim zidom. V tej metodi je potrebno posebno pozornost posvetiti tudi odvodnjevanju. Prav tako je ta metoda dosti bolj finančno ugodna.

V grafikonu je jasno razvidno, da je metoda z nasipom precej dražja, to je posebej opazno v finančno najbolj potratnem segmentu zemeljska dela.

**Primerjalna analiza stroškov
med nasipom in podpornim zidom**



Grafikon 3: Primerjalna analiza stroškov med nasipom in podpornim zidom brez DDV.

5 VARIANTE SANACIJ ZA PLAZ v km 7,6+86.00 do km 7,7+35.60

5.1 *Obstoječe stanje PLAZU v km 7,6+88.00 do km 7,7+33.00*



Pod cesto je podporni zid, ki ni poškodovan, vprašljiva pa je njegova globalna stabilnost. Zgornji odlomni rob je na polovici cestišča, opazen je tudi odlomni rob pod zidom.

Slika 46: Fotografija PLAZU z obstoječim podpornim zidom.

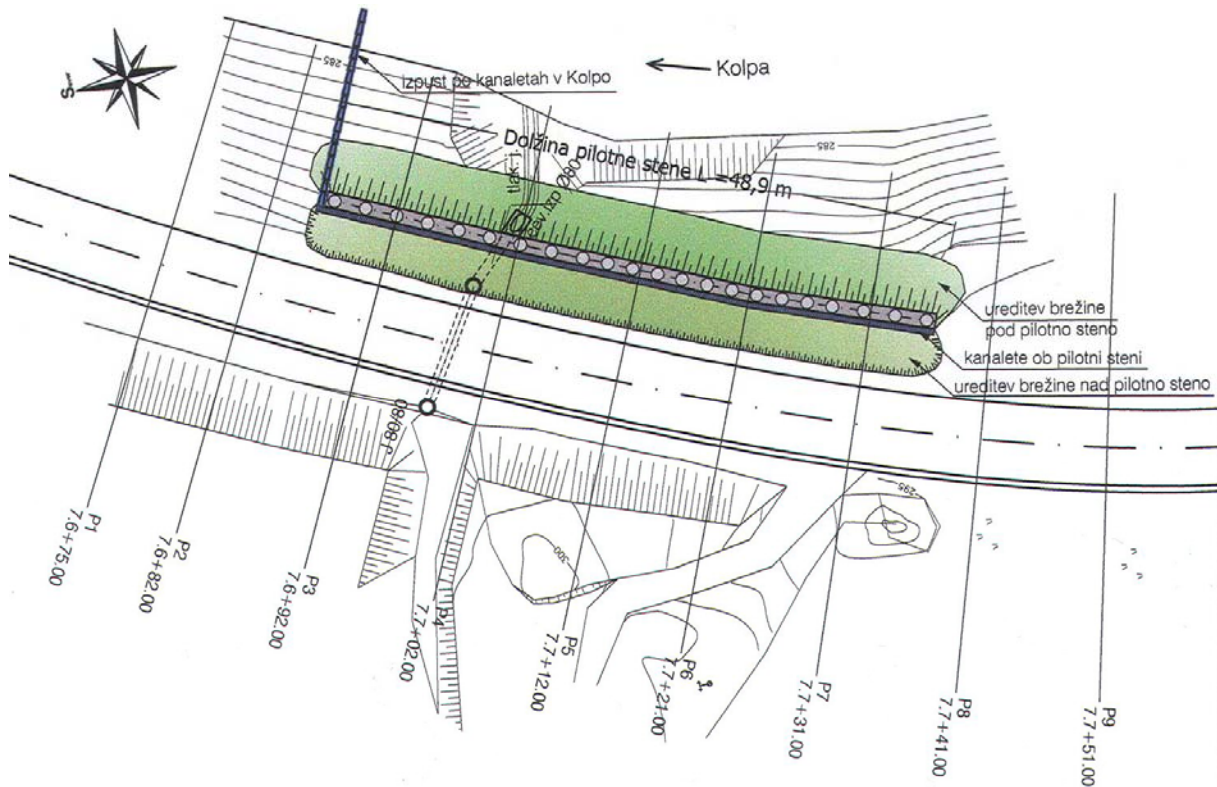
Na desni strani je potrebno predvideti ublažitev vkopne brežine do naklona 1:1 z zaokrožitvijo pri vrhu brežine ter predvideti ustrezno proti erozijsko zaščito brežine.

Obravnavano področje grade štirje karakteristični litološki členi: umetni nasip, deluvijalna preperina, aluvijalni nanos in permo karbonska podlaga mehkih kamnin.

Izvedene so štiri (4) sondažne vrtine V - 1 do V - 4, ki so prikazane na sliki 19.

Sanacija plazu prikažemo z dvema variantama, ki jih medseboj primerjamo, tako po tehnični plati, kot tudi finančnih prednosti oz. pomakljivosti posamezne metode.

5.2 Varianta sanacije plazu s pilotno steno v km 7,6+86.20 do km 7,7+35.60

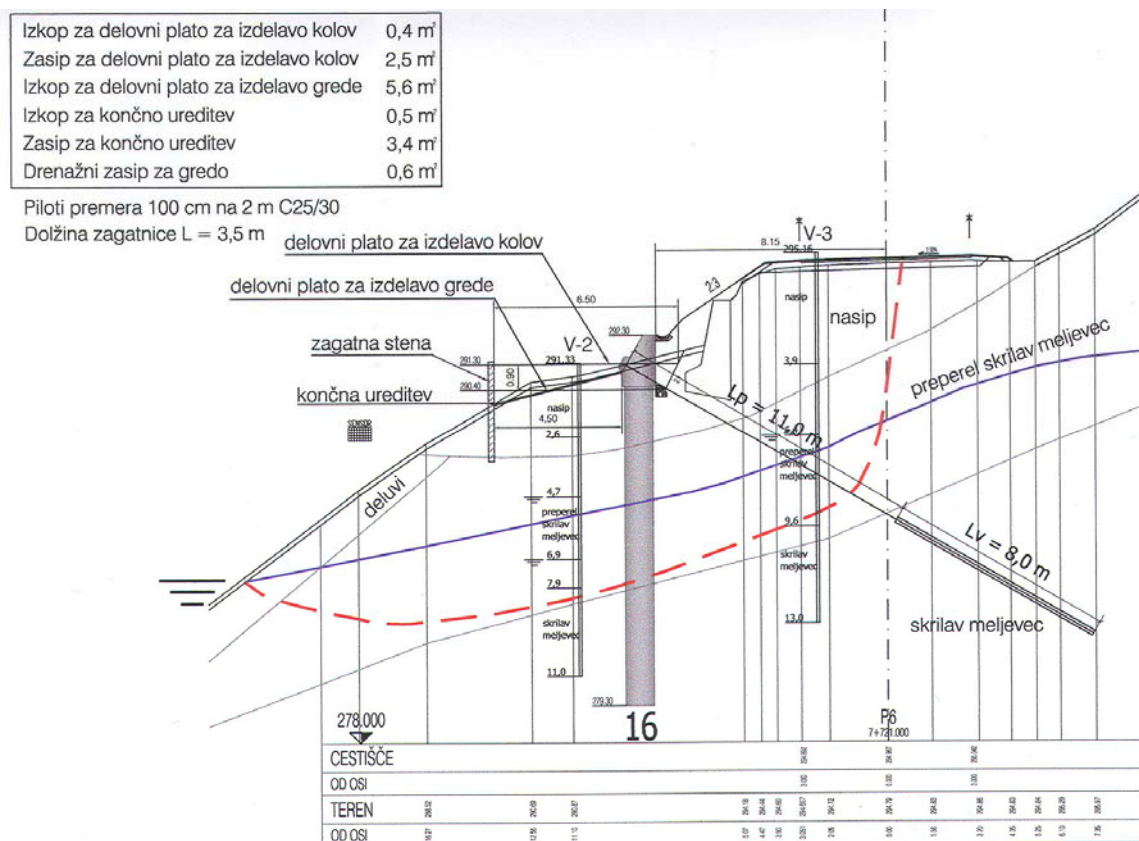


Slika 47: Tlorisna situacija sanacije s pilotno steno (IRGO, Ljubljana, 2003).

Sanacija plazu v km 7,600 je predvidena z izgradnjo enkrat sidrane pilotne stene in rekonstrukcijo cestišča na poškodovanem delu.

Pilotno steno tvorijo piloti, ki so izvedeni iz delovnega platoja z odkopom in delovnim nasipom iz izkopnega materiala. Dostop na delovni plato se uredi iz obstoječe ceste.

Sidranje pilotne stene se izvede skozi vezno gredo s trajnimi geotehničnimi sidri.



Slika 48: Karakteristični prečni profil pilotne stene (IRGO, Ljubljana, 2003).

5.2.1 Stabilnostna analiza za pilotno steno

Stabilnostno analizo smo naredili ob upoštevanju parametrov, ki so v preglednici 9.

Preglednica 11: Vhodni parametri za stabilnostno analizo pilotne stene.

Karakteristike zemljin	γ (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)
nasip	21,0	33	0,1
preperel skrilav meljevec	23	25	12
kompakten skrilav meljevec	23	30	16
nasip za sanacijo (vgrajen, uvaljan)	21,0	34	0,1
deluvij	21,5	28	9,5
rolirana brežina	21	45	30

Pri dimenzioniranju podporne konstrukcije, ki jo sestavljajo uvrtni piloti in vezna greda, smo upoštevali beton kvalitete C 25/30.

5.2.2 Analiza za pilotno steno

Stabilnostno analizo smo izvedli v profilu P3, P5, P7 in jo sestavlja 16 faz, ki jih lahko združimo v 3 sklope:

- V prvem sklopu smo določili začetne napetosti v zemljini, dodali vodo in prometno obtežbo, ter izračunali začetni faktor varnosti.
- V drugem sklopu smo simulirali vrstni red sanacije ceste: izgradnja zagatne stene, delovnega platoja in pilotov. Na koncu smo vgradili in prednapeli sidra, odstranili zagatno steno ter vzpostavili končno ureditev.
- V tretjem sklopu pa smo izračunali še varnostne faktorje za različne obtežbene primere. Najprej smo določili varnost takoj po izgradnji pilotne stene, nato varnost z aktiviranim prometom, na koncu pa smo določili še varnost kombinacije vode in prometa.

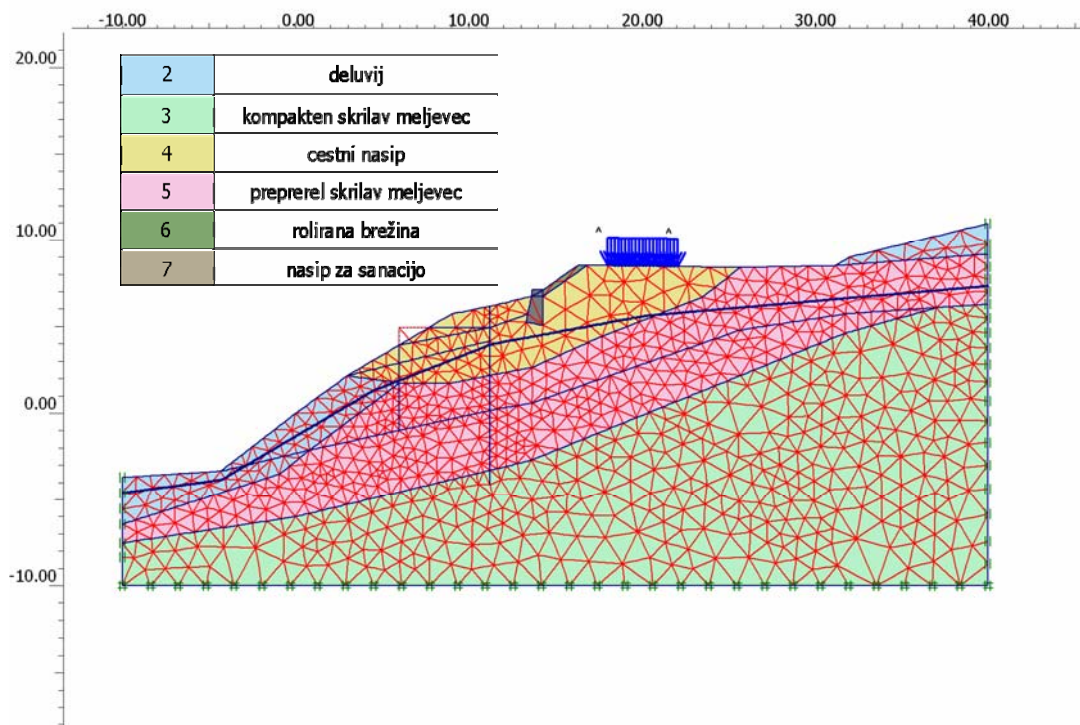
Kratek opis posameznih faz:

- začetno stanje: določitev začetnih napetosti v zemljini
- začetno stanje + promet + voda: aktiviranje prometne obtežbe ter dvig talne vode
- začetna varnost + promet + voda $F_s=1,00$: določitev začetnega faktorja varnosti
- zagatna stena: vgradnja zagatnice
- delovni plato: vgradnja nasipa za delovni plato
- vmesna varnost $F_s=1,20$: določitev faktorja varnosti med sanacijo
- izgradnja pilotov: aktivacija pilotne stene
- nasip, odstranitev starega zidu: ureditev brežine nad pilotno steno
- vgradnja sider + PN⁵ 300 kN: aktiviranje in prednapetje geotehničnih sider na 300 kN
- odstranitev zagatne stene: končna ureditev brežine
- končna varnost $F_s=1,50$: določitev končnega faktorja varnosti

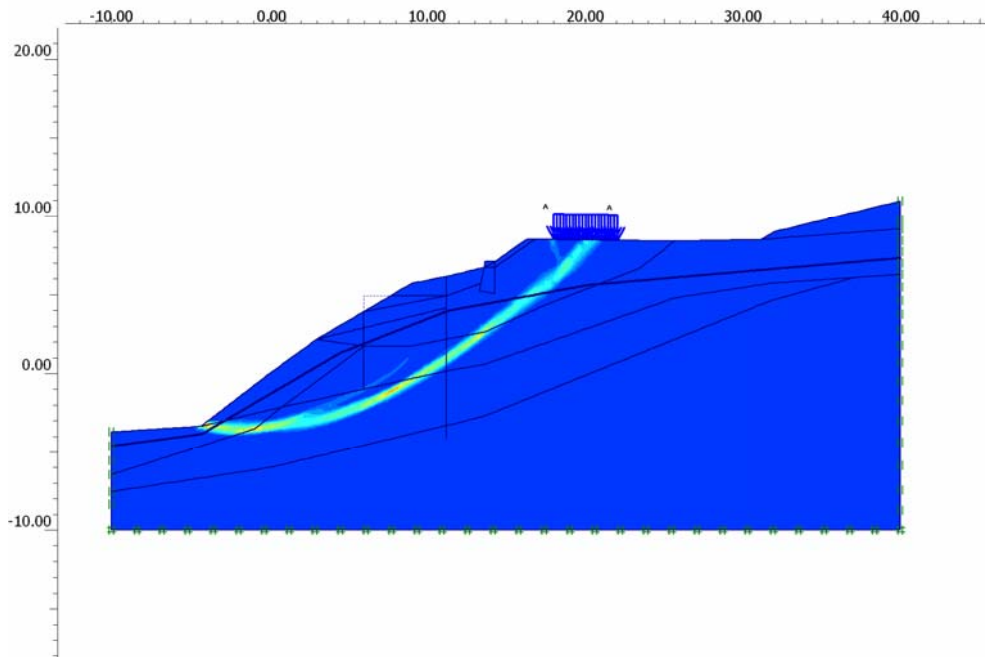
⁵ PN – prednapetje (sider)

- promet: aktiviranje prometne obtežbe
- končna varnost + promet $F_s=1,49$: določitev končnega faktorja varnosti pri aktivirani prometni obtežbi
- promet + voda: aktiviranje prometne obtežbe ter dvig talne vode
- končna varnost + promet + voda $F_s=1,26$: določitev končnega faktorja varnosti pri aktivirani prometni obtežbi ter povišani gladini talne vode

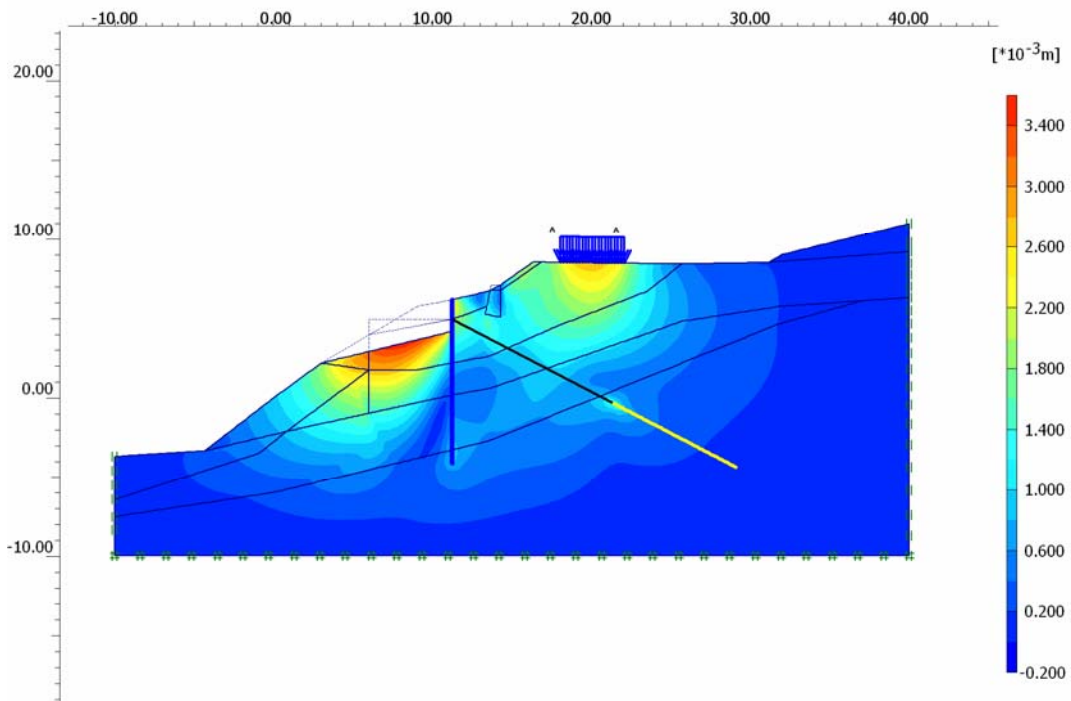
Spodnji del predstavlja šest slik, kjer so prikazani geometrija z mrežo končnih elementov, porušnica v začetni fazi, pomiki, diagram pomikov pilota, prečne sile in momentov, porušnica v končni ureditvi ter diagram končnega faktorja varnosti.



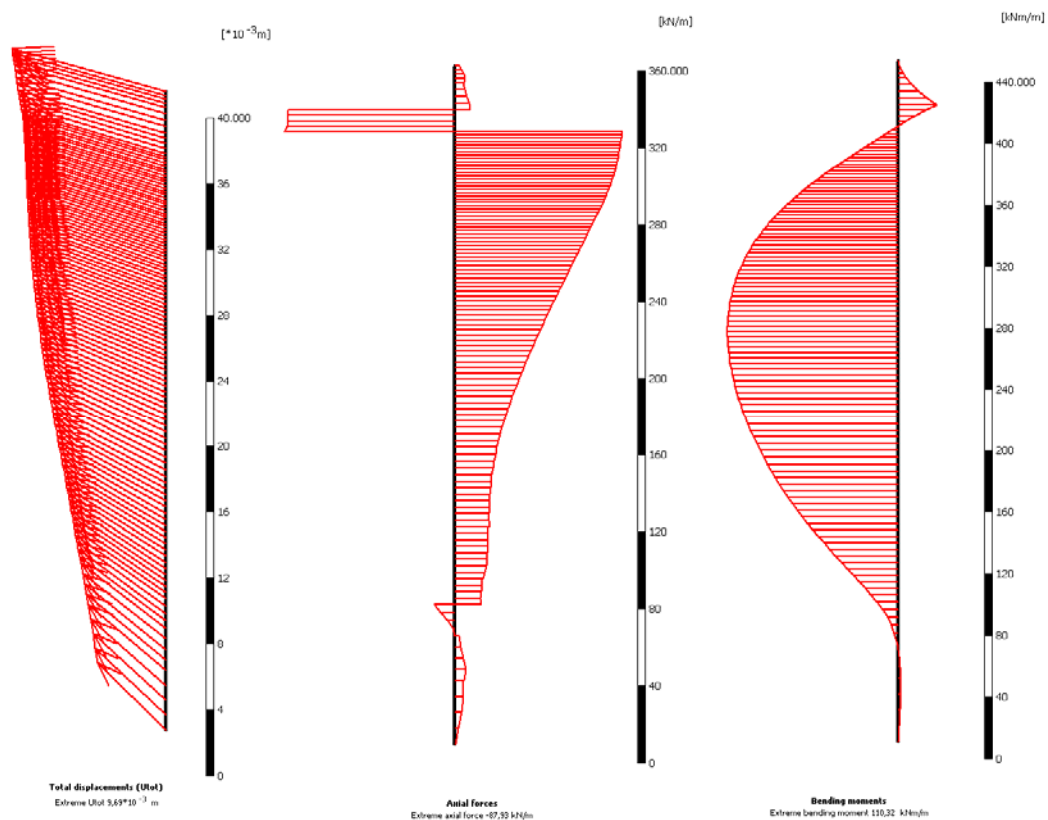
Slika 49: Geometrija z mrežo končnih elementov v profilu P7, varianta pilotne stene.



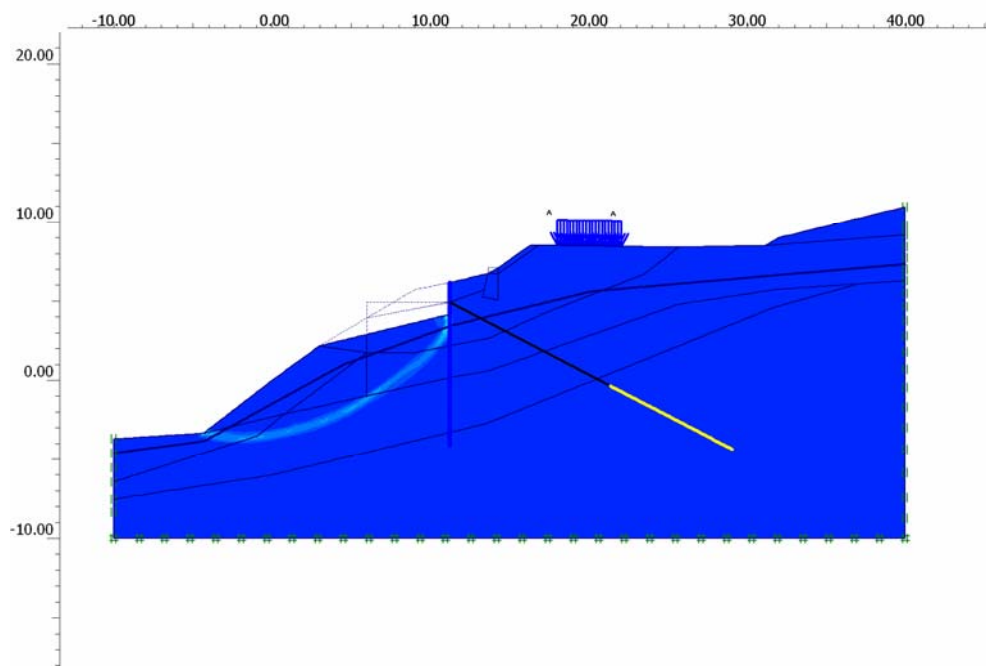
Slika 50: Začetno stanje brez pilotne stene, $F_s=1.00$ ob upoštevanju prometa in vode v profilu P7.



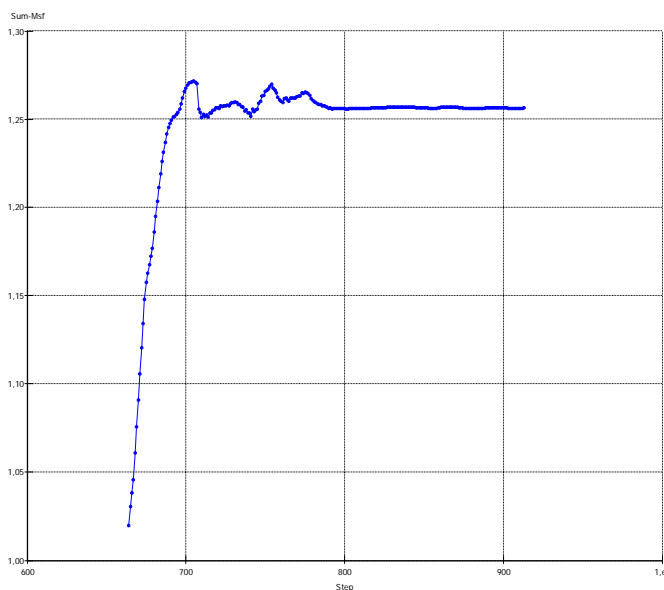
Slika 51: Pilotna stena v profilu P7 in dobljeni pomiki ob upoštevanju prometa.



Slika 52: Notranje maksimalne sile v pilotu P7, varianta pilotne stene.



Slika 53: Varnostni količnik pod pilotno steno, $F_s=1.26$ ob upoštevanju prometa in vode.



Slika 54: Diagram varnostnega količnika pod pilotno steno, $F_s=1.26$ v profilu P7 ob upoštevanju prometa in vode.

Končna varnost je merodajna za drsino pod pilotno steno, ki ni kritična, torej izračun kaže, da je varnost proti zdrsu na območju ceste kvečjemu večja. Z analizo MKE je zelo težko določiti drsine z višjim varnostnim količnikom od minimalne.

5.2.3 Dimenzioniranje pilotne stene

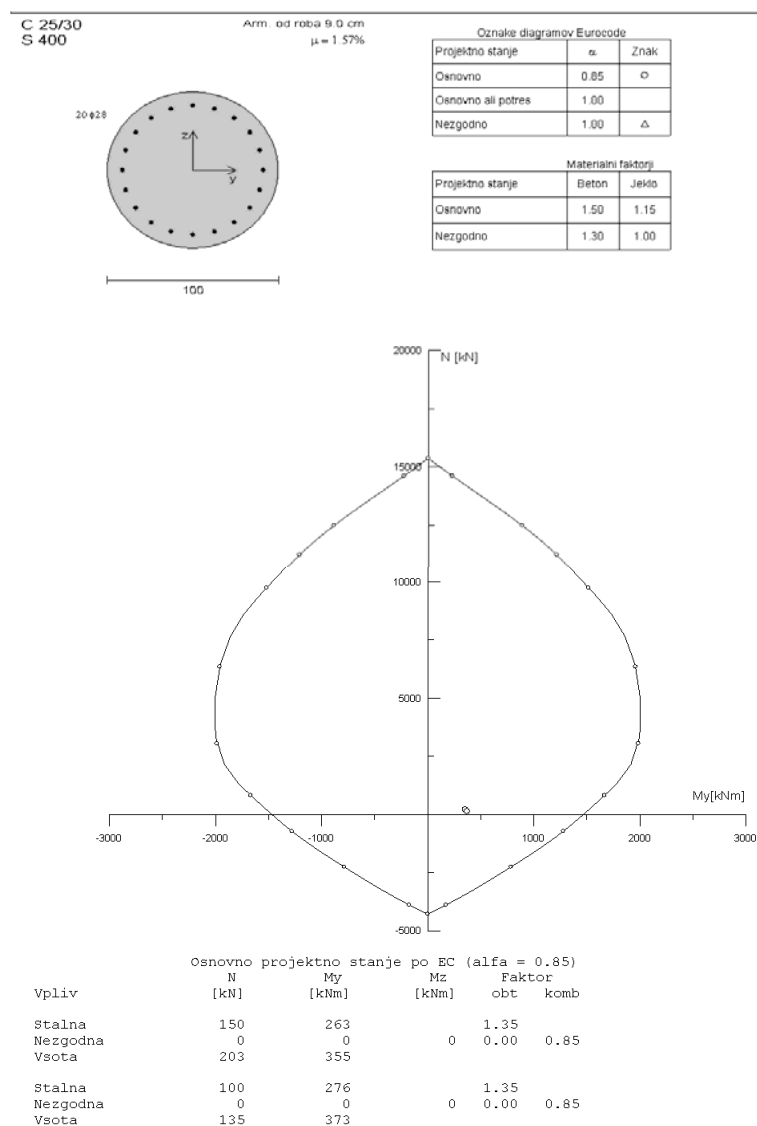
Na podlagi rezultatov, dobljenih s statičnimi izračuni, smo dimenzionirali pilotno steno. Armaturo smo izračunali na osnovi upogibnih momentov in prečnih sil, ki se pojavljajo kot obremenitve pilota.

Glede na računsko dobljene notranje količine smo pilote razdelili na dve skupini in sicer na pilote, ki se nahajajo na mestu, kjer je drsna ploskev globoka in so bolj armirani in na pilote, kjer je drsna ploskev bolj plitva pod površino. V prvi skupini so piloti z oznako 9 do 19, ki so na medsebojni razdalji 2 m in drugi skupina pilotov z oznako 1 do 8 in piloti 20 do 22, pa so na medsebojni razdalji 2,5 m, glej sliko 46.

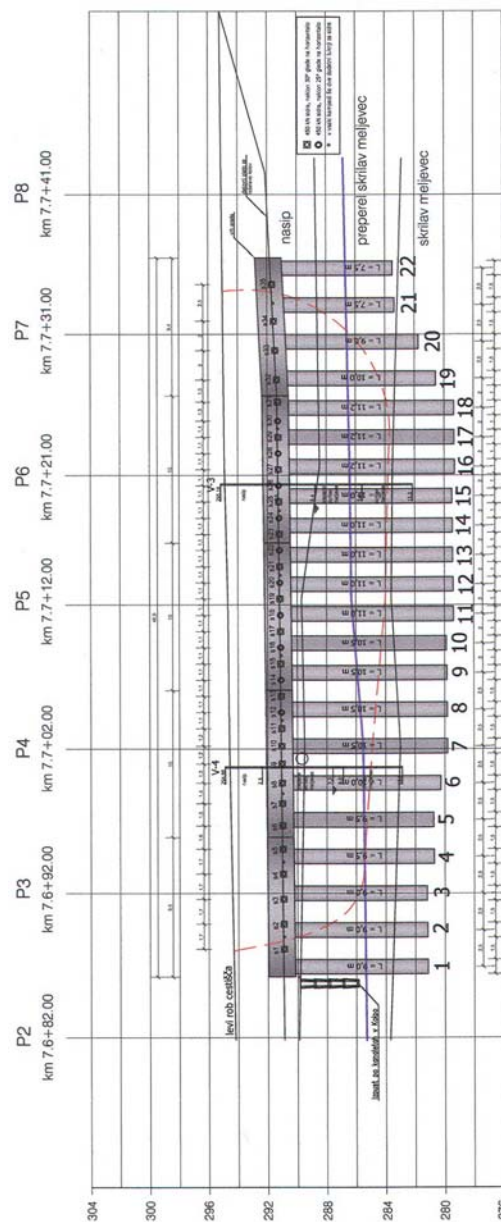
Največji računsko dobljeni momenti in prečne sile so predstavljene v preglednici 10.

Preglednica 12: Maksimalne notranje sile v pilotu z izbrano armaturo.

Notranje sile v pilotu	M_{\max} (kN/m)	M_{\max}^a (kN/m)	Q_{\max} (kN)	Q_{\max}^a (kN)	Armatura BSt 420S
Piloti: 9 - 19	131,3	263	75	150	20 Φ 28
Piloti: 1 - 8, 20 - 22	138	276	50	100	20 Φ 28



Slika 55: Izpis iz diagrama DIAS, za maks. aktivirane notranje sile v profile P3 in P5.



Slika 56: Vzdolžni profil pilotne stene.

5.2.4 Tehnologija gradnje

Pilotna stena je locirana pod podpornim zidom. Steno tvorijo uvrtni piloti sistema Benotto, premera 100 cm v medsebojni medosni razdalji 2,0 m oziroma 2,5 m. Pilotno steno sestavlja 22 uvrtnih pilotov. Po izdelavi uvrtnih pilotov se glave pilotov poveže še z vezno gredo trapezne oblike, višine 180 cm in spodnje širine 120 cm. Vgradi se geotehnična sidra nosilnosti 300 kN, ki jih je potrebno prenapeti.

Za izdelavo stene iz uvrtnih pilotov se predhodno uredi povozni delovni plato. Višina platoja je 0,8 m pod glavo pilota oziroma 0,9 m nad spodnjim robom vezne grede. Delovni plato je potrebno zaradi stabilnosti brežin zgraditi z uporabo zabutih zagatnic, globina zabite zagatnice pa mora biti vsaj enaka višini zagatnice nad površino. Pilote naj se izkoplje ob geološko geotehnični spremljavi, ki obenem tudi določa globino izkopa.

Po izkopu vsakega pilota se vgradi armaturni koš, nato pa se pilote zabetonira z betonom kvalitete C 25/30. Vgradnja betona poteka na kontraktorski način. Na 25 % naključno izbranih pilotov se obvezno izvede preizkuse zveznosti.

Po izdelavi se delovni plato zniža za 0,9 m na plato za izdelavo sidrne grede. Po izdelavi platoja se odseka glave pilotov. Po čiščenju pilotov se položi podložni beton. Na notranji strani pilotov se položi drenažna cev ϕ 16 cm, ki se jo ustrezno zaščiti z drenažnim betonom. Na podložni beton se postavi armaturo in nato opaž za sidrno gredo. Na mestih, predvidenih za sidra, se pritrdi plastične cevi ϕ 160 mm, na mestih dilatacije pa tanek stiropor. Gredo se potem zabetonira s pomočjo črpalke.

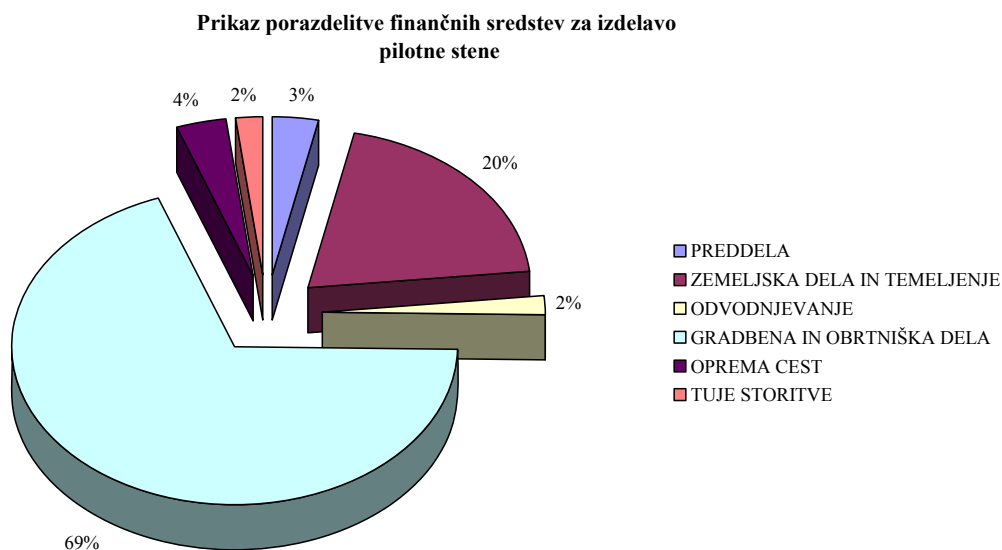
Beton za gredo mora biti vodoneprepusten C 25/30. Izdelava se z dodatkom XC4, XD3 in XF4. Po zabetoniranju sidrne grede se skozi plastične cevi vgradi sidra, skupaj z jeklenimi konusi. Sidro se vgradi v predhodno izvrtane vrtine premera 15 cm. K prednapenjanju sider se lahko pristopi 8 dni po vgradnji oziroma, ko injektirna masa doseže 75 % trdnosti. Po vgradnji in prednapetju sider je potrebno sidrne glave ustrezno zaščititi proti koroziji.



Slika 57: Prikaz saniranega stanja PLAZU s pilotno steno.

5.2.5 Predračun in rekapitulacija investicijskih stroškov za pilotno steno

Predračun investicijskih stroškov za pilotno steno temelji predvsem na gradbeno obrtniških delih. Velika količina vgrajenega materiala ima velik finančni učinek, saj predstavlja 69 % vseh del, od tega za izgradnjo pilotov 56 %.



Grafikon 4: Predračun investicijskih stroškov za pilotno steno.

Preglednica 13: Rekapitulacija investicijskih stroškov za pilotno steno (v EUR).

VRSTA DEL	VREDNOST
PREDDELA	6.457,60
ZEMELJSKA DELA IN TEMELJENJE	40.037,14
ODVODNJEVANJE	3.940,91
GRADBENA IN OBRRTNIŠKA DELA	138.113,42
OPREMA CESTE	7.302,62
TUJE STORITVE	4.047,74
SKUPAJ ZA PREDRAČUN	199.882,72
+20% DDV	39.996,54
SKUPAJ ZA PREDRAČUN Z DDV	239.879,26

5.3 *Varianta sanacije z mikro piloti v km 7,6+86.20 do km 7,7+35.60*

Kot druga rešitev je izdelava mikro pilotne stene, pri kateri je edina razlika pri premeru pilotov, ki v tem primeru znaša 40 cm. Vse ostale karakteristike ostanejo nespremenjene. Tako sam postopek izdelave, kakor tudi redosled del ostane isti.

5.3.1 Analiza za mikro-pilotno steno

Stabilnostno analizo smo izvedli v profilu P3, P5, P7 in jo sestavlja 16 faz, ki jih lahko združimo v 3 sklope:

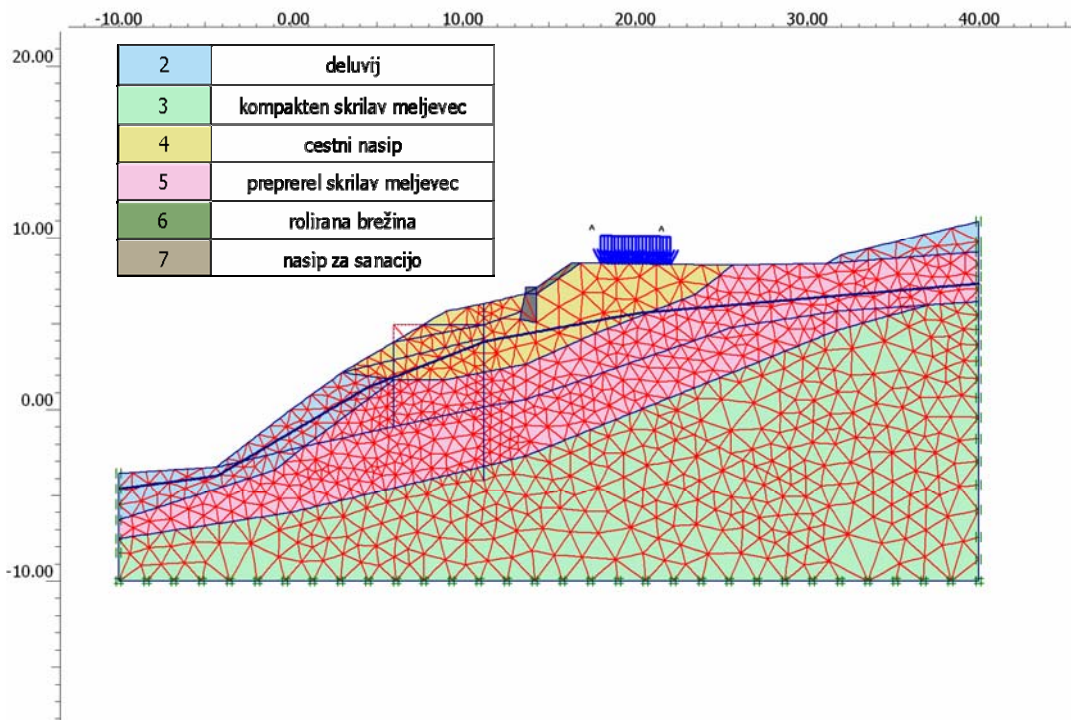
- V prvem sklopu smo določili začetne napetosti v zemljini, dodali vodo in prometno obtežbo, ter izračunali začetni faktor varnosti.
- V drugem sklopu smo simulirali vrstni red sanacije ceste: izgradnja zagatne stene, delovnega platoja in mikro-pilotov. Na koncu smo vgradili in prednapeli sidra, odstranili zagatno steno ter vzpostavili končno ureditev.
- V tretjem sklopu pa smo izračunali še varnostne faktorje za različne obtežbene primere. Najprej smo določili varnost takoj po izgradnji pilotne stene, nato varnost z aktiviranim prometom, na koncu pa smo določili še varnost kombinacije vode in prometa.

Kratek opis posameznih faz:

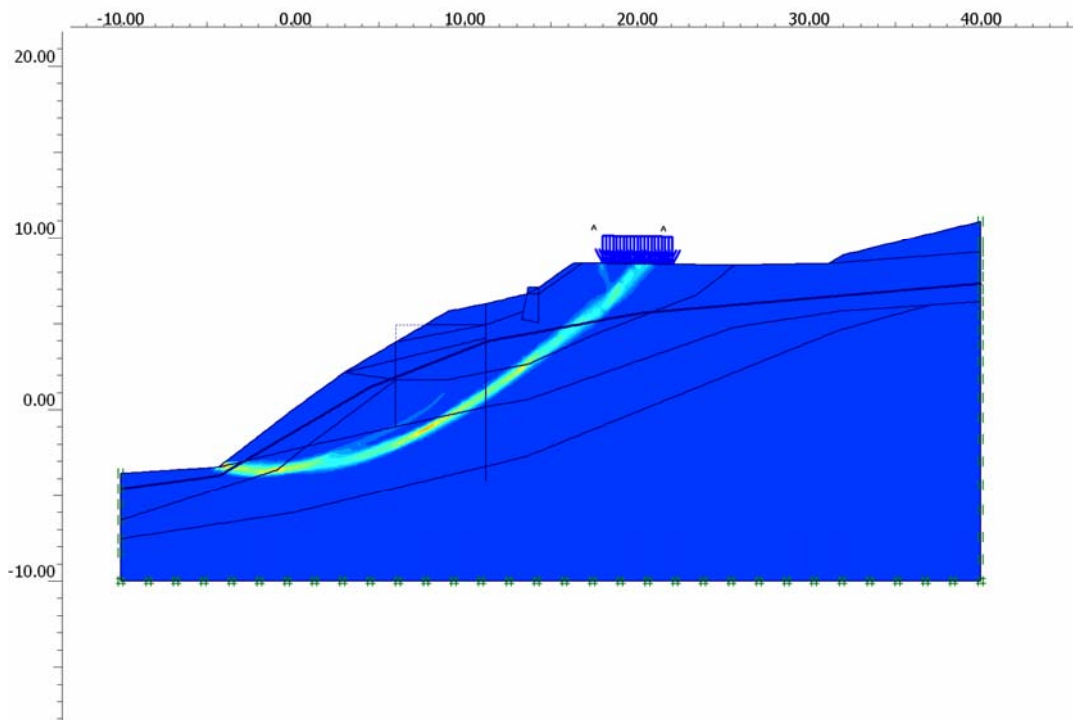
- začetno stanje: določitev začetnih napetosti v zemljini
- začetno stanje + promet + voda: aktiviranje prometne obtežbe ter dvig talne vode
- začetna varnost + promet + voda $F_s=1,00$: določitev začetnega faktorja varnosti
- zagatna stena: vgradnja zagatnice
- delovni plato: vgradnja nasipa za delovni plato
- vmesna varnost $F_s=1,20$: določitev faktorja varnosti med sanacijo
- izgradnja pilotov: aktivacija pilotne stene
- nasip, odstranitev starega zidu: ureditev brežine nad pilotno steno
- vgradnja sider + PN 150 kN: aktiviranje in prednapetje geotehničnih sider na 150 kN
- odstranitev zagatne stene: končna ureditev brežine

- končna varnost $F_s=1,50$: določitev končnega faktorja varnosti
- promet: aktiviranje prometne obtežbe
- končna varnost + promet $F_s=1,49$: določitev končnega faktorja varnosti pri aktivirani prometni obtežbi
- promet + voda: aktiviranje prometne obtežbe ter dvig talne vode
- končna varnost + promet + voda $F_s=1,26$: določitev končnega faktorja varnosti pri aktivirani prometni obtežbi ter povišani gladini talne vode

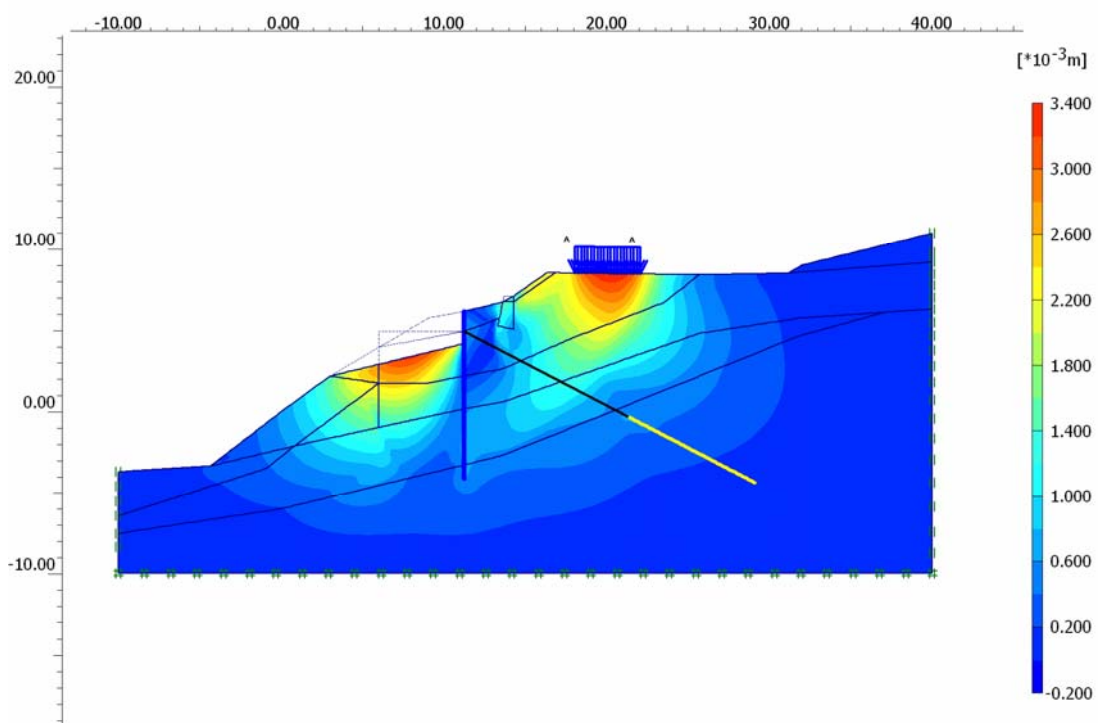
Spodnji del predstavlja šest slik, kjer so prikazani geometrija z mrežo končnih elementov, porušnica v začetni fazi, pomiki, diagram pomikov pilota, prečne sile in momentov, porušnica v končni ureditvi ter diagram končnega faktorja varnosti.



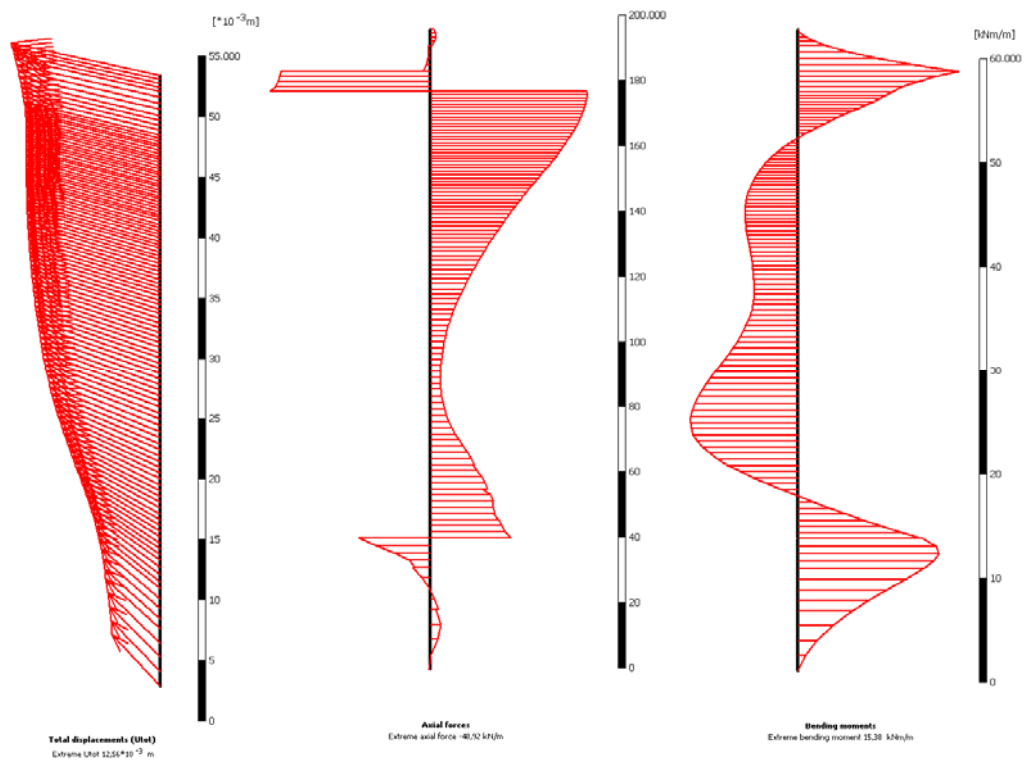
Slika 58: Geometrija z mrežo s končnimi elementi v profilu P7, varianta z mikro pilotno steno.



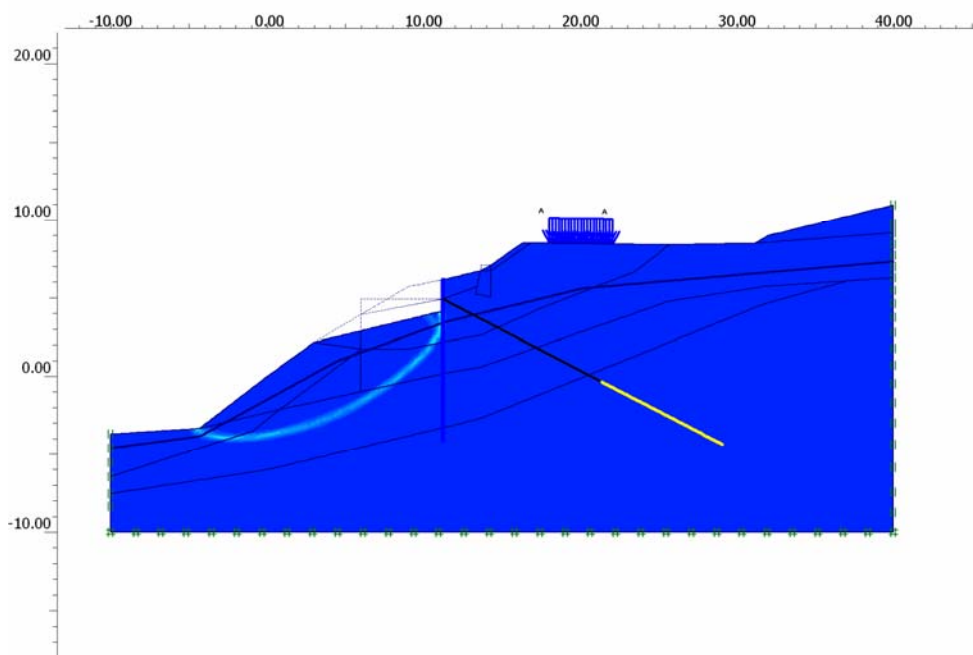
Slika 59: Začetna varnost brez mikro pilotne stene, $F_s=1.00$ v profilu P7 ob upoštevanju prometa in vode.



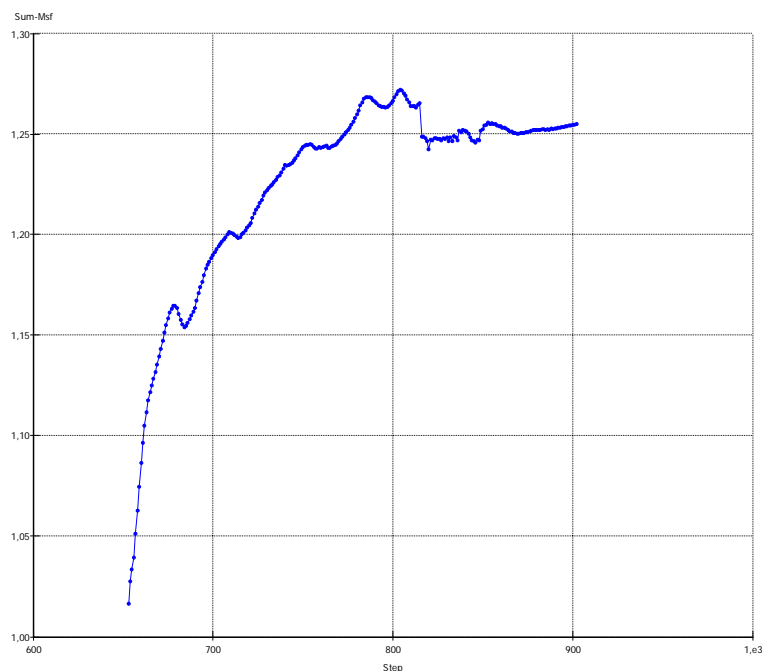
Slika 60: Mikro pilotna stena v profilu P7 in dobljeni pomiki ob upoštevanju prometa.



Slika 61: Notranje maksimalne sile v profilu P7, varianta mikro pilotne stene.



Slika 62: Varnostni količnik pod mikro pilotno steno, $F_s=1.26$ v profilu P7 ob upoštevanju prometa in vode.



Slika 63: Diagram varnostnega količnika pod mikro pilotno steno, $F_s=1.26$ v profilu P7 ob upoštevanju prometa in vode.

Piloti manjšega premera imajo drugačno deformacijsko polje in posledično drugačno obremenitev notranjih sil kot piloti večjega premera.

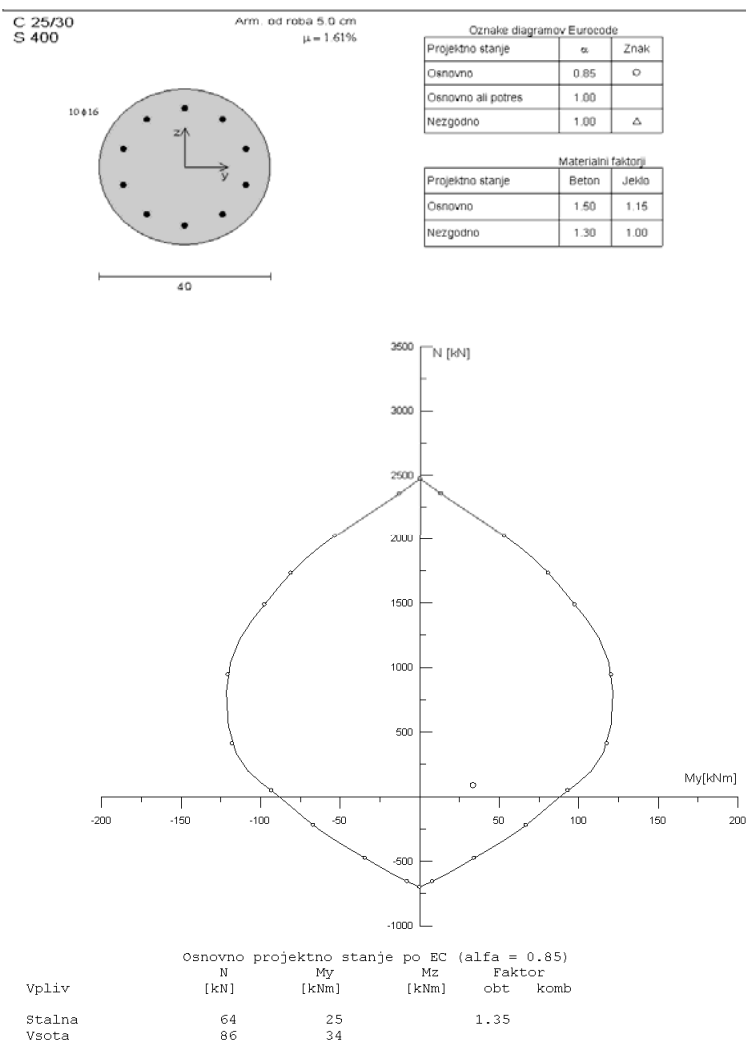
5.3.2 Dimenzioniranje mikro pilotne stene

Na podlagi rezultatov dobljenih s statičnimi izračuni, smo dimenzionirali mikro pilotno steno. Armaturo smo izračunali na osnovi upogibnih momentov in prečnih sil, ki se pojavljajo kot obremenitve mikro pilota.

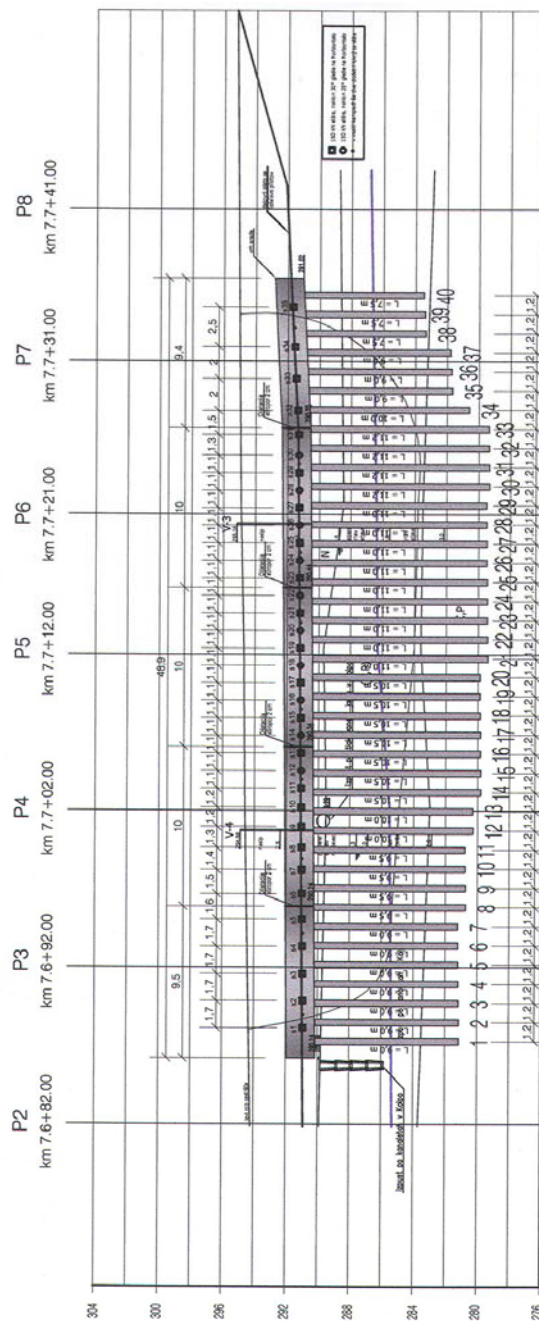
Steno tvorijo uvrtni mikro piloti sistema Benotto, premera 40 cm v medsebojni medosni razdalji 120 cm, glej sliko 54. Največji računsko dobljeni momenti in prečne sile so predstavljene v preglednici 12.

Preglednica 14: Maksimalne notranje sile v mikro pilotu z izbrano armaturo.

Notranje sile v pilotu	M_{\max} (kN/m)	M^a_{\max} (kN/m)	Q_{\max} (kN)	Q^a_{\max} (kN)	Armatura BSt 420S
Piloti: 1 - 40	145	25	32	64	10 Φ 16



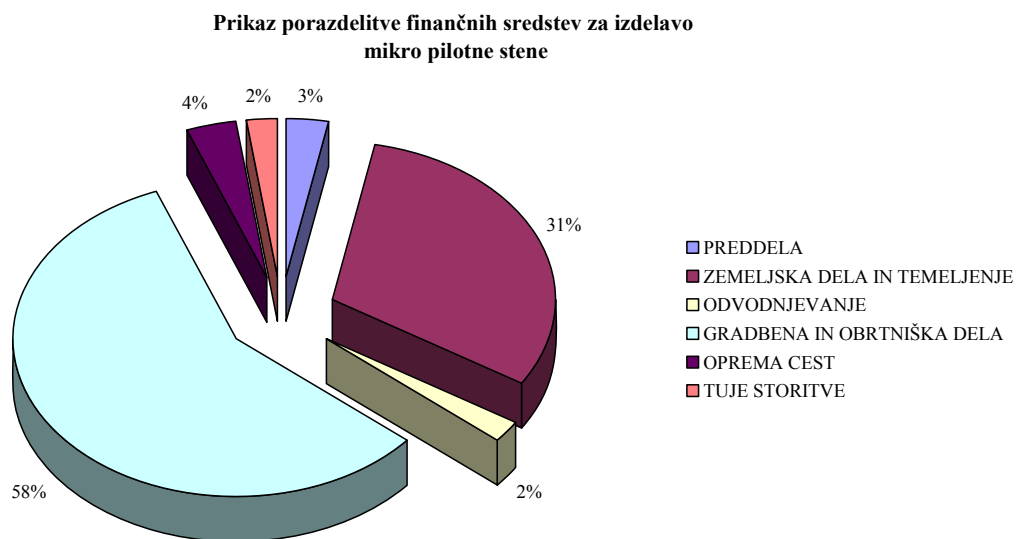
Slika 64: Izpis iz diagrama DIAS, za maks. aktivirane notranje sile v profile P7.



Slika 65: Vzdolžni profil mikro pilotne stene

5.3.3 Predračun in rekapitulacija investicijskih stroškov za mikro pilotno steno

Predračun investicijskih stroškov za mikro pilotno steno je enak kot za pilotno steno, z razliko, da je ta metoda še ugodnejša zaradi manjšega premera pilotov. Zato je ta tudi finančno najugodnejša.



Grafikon 5: Rekapitulacija investicijskih stroškov za mikro pilotno steno.

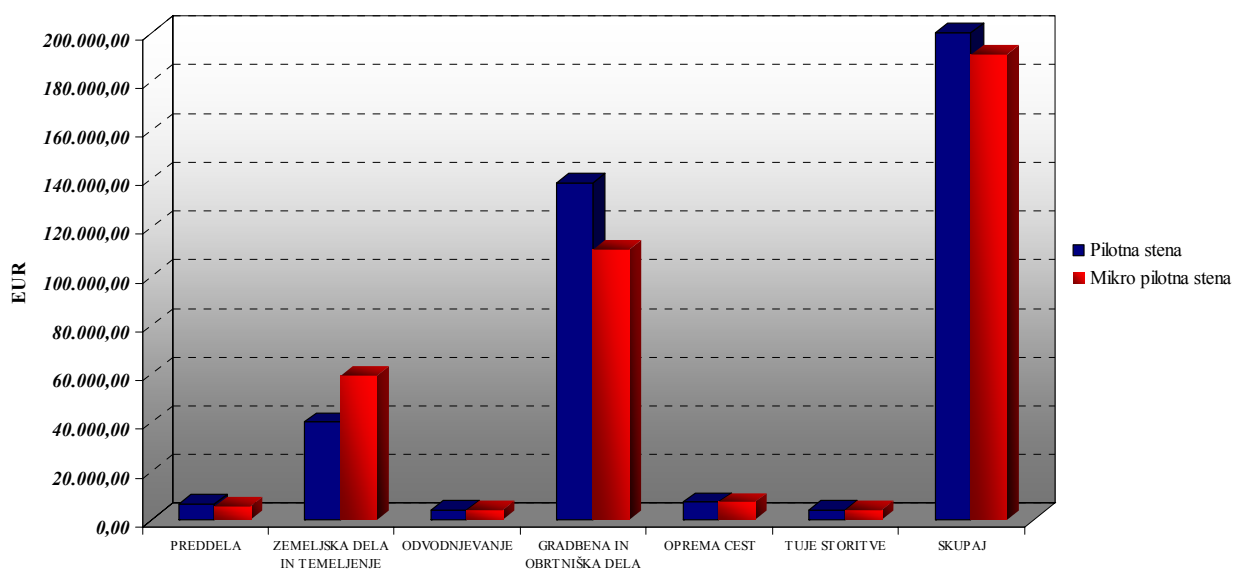
Preglednica 15: Rekapitulacija investicijskih stroškov za mikro pilotno steno (v EUR).

VRSTA DEL	VREDNOST
PREDELA	5.619,84
ZEMELJSKA DELA IN TEMELJENJE	59.327,46
ODVODNJEVANJE	3.941,02
GRADBENA IN OBRRTNIŠKA DELA	110.839,30
OPREMA CESTE	7.302,50
TUJE STORITVE	4.047,71
SKUPAJ ZA PREDRAČUN	191.077,83
+20% DDV	38.215,57
SKUPAJ ZA PREDRAČUN Z DDV	229.293,39

5.4 Primerjava med pilotno steno in mikro piloti pri sanaciji plazu v km 7,6+86.20 do km 7,7+35.60

Primerjava med obema metodama je zelo otežena, saj sta tehnično enakovredni konstrukciji. Razlika je v količini vgrajenega materiala. V finančnem smislu pa ima prednost varianta z mikro piloti, ta razlika ni tako očitna v samem seštevku cene, ki ni višja od 5 %.

Primerjalna analiza stroškov med nasipom in podpornim zidom



Grafikon 6: Primerjalna analiza stroškov med pilotno steno in mikro pilotno steno brez DDV.

6 ZAKLJUČEK

Zemeljski plazovi so pojav, ki ima v odvisnosti od velikosti plazov lahko velik vpliv na oblikovanje zemeljskega površja. Nestabilna območja ogrožajo ljudi, njihovo premoženje (hiše, promet in ostalo infrastrukturo). Plaz ali zdrs nestabilnih območij pa lahko povzroči zajetje voda, uničenost obdelovalnih površin, poškodovanost urbanega področja, uničenost infrastrukture, nedostopnost podzemne infrastrukture, itd.

Diplomska naloga povzema teoretične osnove in metode za analizo zemeljskih plazov. Prikazani so splošni ukrepi za stabilizacijo plazov in predstavljene so značilnosti geotehničnih konstrukcij, ki jih pogosto uporabljamo v ta namen.

Sanacijo plazov in usadov je vedno mogoče izvesti na več načinov. Kateri od teh načinov je najboljši, je težko ugotoviti brez detajlnih analiz, vedno pa je potrebno preučiti rešitve tako s tehničnega kot tudi finančnega stališča.

V okviru te diplomske naloge je bila izvedena primerjava sanacij usada in plazov na dveh primerih, na katerih sta bili preučeni dve varianti. Prva varianta sanacije je bila z nasipom in podpornim zidom, druga pa s pilotno in mikro pilotno steno.

Pri sanaciji usada je imela varianta z zidom tako tehnične kot tudi finančne prednosti. Pri plazovih sta obe varianti tehnično enakovredni, finančno pa ima prednost varianta z mikro piloti, vendar le ta ni izrazita.

Za večino podobnih primerov bi bilo priporočljivo izdelati podobne primerjave, saj bi s tem povečali kvaliteto podanih rešitev ter znižali stroške sanacij.

VIRI

Komac M. 2005. Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: 12, 13 str.

Navodila za Plaxis 2D – Version 8. 2002. Delft, Brinkgreve R.B.J.: 5 - 10 str.

Nonveiller E. 1987. Kliženje i stabilizacija kosina. Zagreb, Školska knjiga: 133 str.

Nonveiller E. 1979. Mehanika tla i temeljenje građevina. Zagreb, Školska knjiga: 375 str.

Osrečki I. 1994. Zemeljski plazovi in sanacija plazzu Podlonk. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Montanistika: 5 f.

Prelog E. 1975. Metoda končnih elementov. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 1-3 str.

PGD, PZI sanacija usada in plazzu »Osilnica« na cesti R3-657/1345 Gašparci – Osilnica v km 7.600 in km 7.750. 2003. Ljubljana, IRGO Consulting d.o.o.

PGD, PZI geološko geotehnično poročilo o raziskavah in pogojih sanacije plazzu in usada na regionalni cesti R3-657 odsek 1345 Gašparci – Osilnica v km 7.600 in km 7.750. 2002. Ljubljana, Geoinženiring d.o.o.

Ribičič M. 1997. Tehnična geologija: d.1. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Montanistika: 38 – 93 str.

Šuklje L. 1984. Mehanika tal. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 250 – 261 str.